



SKRIPSI – TK091383

**KINETIKA PEMBUATAN BIOGAS DARI SUBSTRAT
KULIT KOPI DENGAN MIKROORGANISME
KOTORAN SAPI DAN RUMEN**

Oleh:

RIANTO PRAYOGO SAPUTRO

NRP. 2314105011

AMBARWATI

NRP. 2314105050

Dosen Pembimbing

Prof.Dr.Ir. Tri Widjaja,M.eng

NIP. 1961 10 21 1986 03 1001

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2017



SKRIPSI – TK091383

**“KINETIKA PEMBUATAN BIOGAS DARI
SUBSTRAT KULIT KOPI DENGAN
MIKROORGANISME KOTORAN SAPI DAN
RUMEN”**

Oleh :

RIANTO PRAYOGO SAPUTRO

NRP. 2314105011

AMBARWATI

NRP. 2314105050

Dosen Pembimbing

Prof.Dr.Ir. Tri Widjaja,M.eng

NIP. 1961 10 21 1986 03 1001

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2017

LEMBAR PENGESAHAN

"KINETIKA PEMBUATAN BIOGAS DARI SUBSTRAT KULIT KOPI DENGAN MIKROORGANISME KOTORAN SAPI DAN RUMEN "

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Rianto Prayogo Saputro	2314105011
Ambarwati	2314105050

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof.Dr.Ir.Tri Widjaja,M.eng
(Pembimbing)

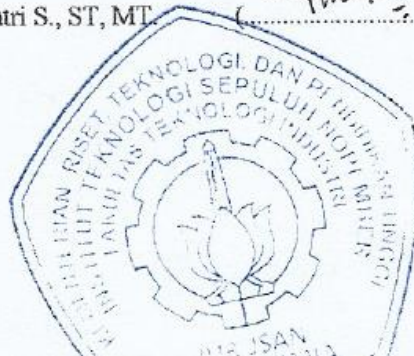
(.....)

2. Setiyo Gunawan,ST, Ph.D.
(Penguji 1)

(.....)

3. Ni Made Intan Putri S., ST, MT
(Penguji 2)

(.....)



Surabaya, Januari 2017

KINETIKA PEMBENTUKAN BIOGAS SUBSTRAT KULIT KOPI DENGAN MIKROORGANISME KOTORAN SAPI DAN RUMEN

Nama Mahasiswa : 1. Rianto Prayogo Saputro
(2314 105 011)
2. Ambarwati
(2314 105 050)
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS

ABSTRAK

Sumber daya minyak dan gas alam dunia yang berasal dari energi fosil semakin berkurang. Sehingga pengembangan penelitian sumber energi alternatif semakin sering dilakukan, salah satunya adalah produksi biogas. Bahan baku alternatif yang potensial untuk menghasilkan gas metana adalah limbah kulit kopi. Kulit kopi dipilih karena merupakan limbah yang banyak dihasilkan dari proses pengolahan biji kopi. Kopi sendiri merupakan komoditas unggulan di Indonesia. Akan tetapi produksi metana dari limbah kulit kopi masih banyak mengalami kendala karena kandungan zat kimia beracun seperti tanin, kafein, dan polifenol yang dapat menghambat produksi biogas yang diinginkan. Oleh karena itu, dilakukan *pretreatment* dengan menggunakan kotoran luwak (*Paradoxurus hermaphroditus*) untuk menghilangkan zat kimia beracun tersebut.

Penelitian ini bertujuan Mengetahui kinetika pembentukan biogas dari kulit kopi (dengan pretreatment dan tanpa pretreatment feses luwak) menggunakan tambahan kotoran sapi dan campuran cairan rumen + kotoran sapi, serta membandingkan kinetika pembentukan biogas dari substrat kulit kopi dan jerami padi. Beberapa fungsi dari perhitungan kinetika antara lain untuk mengetahui variabel mana yang laju pertumbuhannya lebih cepat, dapat digunakan untuk parameter

perhitungan desain pada digester, dan untuk *scale up* dari digester skala laboratorium ke skala pilot plane.

Tahap pertama dalam penelitian adalah persiapan alat dan bahan antara lain kulit kopi, kotoran luwak, cairan rumen dan kotoran sapi. Kemudian tahap kedua melakukan *pretreatment* terhadap kulit kopi menggunakan kotoran luwak. Tahap selanjutnya yaitu melakukan fermentasi anaerobik selama 40 hari dengan suhu mesofilik (30–40°C) dan pH dijaga 6,8-7,2 pada volume kerja reaktor sebesar 12 liter. Terdapat enam reaktor yang masing-masing berisi mikroorganisme cairan rumen (R), kotoran sapi (KS) dan campuran keduanya yang kemudian dibandingkan dengan hasil *pretreatment*. Kemudian membandingkan laju pembentukan biogas antara substrat kulit kopi dengan jerami padi. Adapun parameter yang diukur antara lain penurunan kandungan inhibitor, Chemical Oxygen Demand (COD), Total Solid (TS), Volatile Solid (VS), biogas (CH₄, dan CO₂) dan nilai kalor pembakaran (heating value).

Kata Kunci : *Biogas, Metana, Limbah kulit kopi, Jerami padi, Kinetika*

Kinetics of Biogas Production from Coffee Skin Substrate with Cow Dung and Rumen Microorganisms

ABSTRACT

Resources of oil and natural gas which are derived from fossil energy are wane more and more. So the research development of alternative energy sources are increasingly being conducted, one of the research of alternative energy are the production of biogas. Potential alternative raw materials to produce methane gas is the waste of coffee skin. Skin (epicarp and mesocarp) coffee been a lot of waste that is produced from the processing of coffee beans. Coffee itself is an excellent commodity in Indonesia. However, methane production from waste of coffee skin is still much problems because of the content of toxic chemicals such as tannins, caffeine and polyphenols which can inhibit the production of biogas as desired. Therefore, doing pretreatment to remove toxic chemicals are either mechanically (size reduction), thermal (solar radiation) and biological mixed with the addition of rumen microorganisms, cow dung and feses of civet (*Paradoxurus hermaphroditus*).

This study is purposed to knowing the kinetics of the formation of biogas from coffee skin (with and without pretreatment civet feces) additional uses cow dung and rumen fluid + cow dung, and to compare the kinetics of the formation of biogas from coffee skin and rice straw substrate. Some functions of calculation of the kinetics are to determine which variable rate will grows faster, it can be used for the calculation of the parameters on the digester's design, and to scale up from laboratory scale to digester pilot plane scale.

The first step in this research is the preparation of tools and materials include coffee skin, civet droppings, rumen fluid and cow dung. Then the second step is doing pretreatment for the coffee skin by using civet droppings The next step is, doing anaerobic

fermentation for 40 days at mesophilic temperature (30-40°C) and the pH is maintained from 6.8 to 7.2 on a reactor working volume of 3.6 liters. There are six reactors which each contain different microorganisms, cow dung (KS) and a mixture of both (KS-CR) and then compared with the results of reactor which is using coffee skin pretreatment. Then comparing the rate of the formation of biogas between the substrate coffee skin with rice straw. The measured parameters include inhibitor compound decrease, Chemical Oxygen Demand (COD), Total Solid (TS), Volatile Solid (VS), and biogas (CH₄, and CO₂)

This study results that pretreatment with a liquid civet droppings can reduce the inhibitor compound in the substrate of pretreatment coffee skin and produces methane concentrations higher than those without pretreatment in each reactor.

Key words : *Biogas, Methane, waste of coffee skin Paradoxurus hermaphroditus*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhana Wa Ta'ala yang telah memberikan kekuatan sehingga kami dapat melaksanakan laporan Skripsi yang berjudul ***“Kinetika Pembuatan Biogas dari Subsrat Kuli Kopi dan Mikroorganisme Kotoran Sapi dan Rumen”*** dan menyelesaikan laporan ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa tahap sarjana di Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua dan keluarga penulis atas segala dukungannya, doa dan perhatian yang tak pernah terputus.
2. Bapak Juwari, S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing yang selalu meluangkan waktu untuk memberikan saran, bimbingan dan dukungan kepada kami.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng selaku Kepala Laboratorium Teknologi Biokimia
5. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia.
6. Teman-teman laboratorium Teknologi Biokimia atas waktu dan kebersamaannya yang selalu menghibur dan menghilangkan kejenuhan penulis selama pengerjaan TA dan skripsi.
7. Pihak-pihak terkait yang tidak bisa disebut satu-persatu. Terimakasih atas segala bimbingan, doa dan bantuannya selama ini.

Kami menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini, yang membutuhkan saran yang konstruktif demi penyempurnaannya.

Surabaya, Desember2016
Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GRAFIK	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-3
I.3 Tujuan Penelitian	I-4
I.4 Manfaat Penelitian	I-4
I.5 Batasan Penelitian	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Bahan Baku	II-1
II.2 Bahan Berselignulosa	II-1
II.3 Proses Pretreatment Bahan Berlignoselulosa	II-2
II.4 Metana	II-4
II.5 Mekanisme Proses Anaerobik dalam Menghasilkan Metana	II-5
II.6 Cairan Rumen	II-7
II.7 Kotoran sapi	II-8
II.8 Kotoran Luwak	II-10
II.9 Faktor Umum yang Berpengaruh dalam Proses Anaerobik	II-10
II.10 Batch Process	II-11
II.11 Metode untuk Meningkatkan Produksi Biogas	II-15
II.12 Hasil Penelitian Sebelumnya	II-15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Tempat dan Waktu Penelitian	III-1
III.2 Bahan dan Alat	III-1

III.3 Variabel Penelitian dan Kondisi Operasi	III-2
III.4 Tahapan Metodologi Penelitian	III-4
III.5 Metode Analisa	III-11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Hasil Penelitian	IV-1
IV.2 <i>Total solid (TS) dan Volatile solid (VS)</i> dalam Reaktor	IV-2
IV.3 <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	IV-5
IV.4 Analisa Biogas (<i>CH₄, H₂, dan CO₂</i> ,).....	IV-6
IV.5 Kinetika Biogas dan Parameter.....	IV-9
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	V-1
V.2 Saran.....	V-2
DAFTAR PUSTAKA	xiii
DAFTAR NOTASI	xvii
APPENDIKS	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Gambar Struktur Kopi	II-2
Gambar II.2	Struktur selulosa, hemiselulosa, dan lignin.....	II-3
Gambar II.3	Struktur molekul selulosa.....	II-4
Gambar II.4	Struktur molekul hemiselulosa	II-4
Gambar II.5	Struktur molekul lignin	II-5
Gambar II.6	Struktur molekul tanin.....	II-6
Gambar II.7	Estimasi sumber metana.....	II-9
Gambar II.8	Tahapan Proses Anaerobik yang Sinergis dan Berkesinambungan	II-13
Gambar II.9	Rumen dan tampak samping perut sapi.....	II-14
Gambar II.10	Struktur dinding bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif.....	II-15
Gambar II.11	Mekanisme produksi metana di dalam rumen.....	II-16
Gambar II.12	Luwak (<i>Paradoxurus hermaphroditus</i>) pemakan buah kopi	II-21
Gambar II.13	Biji Kopi Pada Feses Luwak	II-21
Gambar II.14	Hubungan antara laju pertumbuhan dan Konsentrasi.....	II-26
Gambar II.15	Kurva pertumbuhan mikroba.....	II-27
Gambar II.16	Pengaruh Konsentrasi Substrat.....	II-28
Gambar II.17	Model monod pertumbuhan mikroba	II-29
Gambar II.18	Evolusi CH ₄ (% V) di dalam yield biogas	II-37
Gambar III.1	Diagram alir penelitian	III-4
Gambar III.2	Pembuatan substrat kulit kopi.....	III-5
Gambar III.3	Skema rangkaian alat penelitian	III-9
Gambar III.4	Analisis kandungan komponen lignoselulosa dengan fraksinasi sequensial berdasarkan metode Chesson.....	III-14

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Kandungan Kulit Kopi.....	II-3
Tabel II.2	Perbandingan Rate Degradasi Selulosa pada Berbagai Kondisi.....	II-10
Tabel II.3	Komposisi Rata-Rata Properti dari CH ₄ pada Sumber Biogas yang Berbeda	II-12
Tabel II.4	Solubilitas Metana dalam Air	II-13
Tabel II.5	Komposisi Mikroorganisme Cairan Rumen	II-18
Tabel II.6	Bakteri Utama Rumen	II-19
Tabel II.7	Substrat untuk Bakteri Methanogens di dalam Rumen	II-21
Tabel II.8	Bakteri yang Terdapat pada Kotoran Sapi (n = 20)	II-22
Tabel III.1	Variabel <i>pretreatment</i> substrat.....	III-2
Tabel III.2	Variabel campuran dalam digester.....	III-2
Tabel III.3	Waktu sampling	III-3
Tabel IV.1	Hasil Analisa komponen Kulit Kopi.....	IV-1
Tabel IV.2	Hasil Analisa komponen inhibitor pada kulit kopi dengan pretreatmen kulit kopi	IV-2
Tabel IV.3	Perubahan TS selama proses anaerobik kulit kopi (%konversi)	IV-3
Tabel IV.4	Perubahan VS selama proses anaerobik kulit kopi (% konversi)	IV-5
Tabel IV.5	Perubahan COD terhadap lamanya fermentasi anaerobik (% konversi)	IV-7
Tabel IV.6	Pembentukan yieldbiogas terhadap lamanya fermentasi anaerobik (ml)	IV-10

DAFTAR GRAFIK

Grafik IV.1 Perubahan TS jerami padi dan kulit kopi terhadap lamanya fermentasi anaerobik.....	IV-4
Grafik IV.2 Perubahan TS kulit kopi dengan pretreatmen dan tanpa pretreatment terhadap lamanya fermentasi anaerobik	IV-4
Grafik IV.3 Perubahan VS jerami padi dan kulit kopi terhadap lamanya fermentasi anaerobik.....	IV-5
Grafik IV.4 Perubahan VS kulit kopi dengan pretreatmen dan tanpa pretreatment terhadap lamanya fermentasi anaerobik	IV-6
Grafik IV.5 Pengaruh lama waktu fermentasi terhadap nilai COD removal pada jerami padi dan kulit kopi	IV-8
Grafik IV.6 Pengaruh lama waktu fermentasi terhadap nilai COD removal pada kulit kopi dengan pretreatmen dan tanpa pretreatment	IV-8
Grafik IV.7 Pengaruh lama fermentasi terhadap nilai yield biogas pada substrat jerami padi dan kulit kopi tanpa pretreatmen	IV-11
Grafik IV.8 Pengaruh lama fermentasi terhadap nilai yield biogas pada substrat kulit kopi dengan pretreatmen dan kulit kopi tanpa pretreatmen	IV-11
Grafik IV.9 Pengaruh lama waktu fermentasi terhadap nilai COD removal dan pembentukan yield biogas pada jerami padi	IV-12
Grafik IV.10 Pengaruh lama fermentasi terhadap konsentrasi CH ₄ yang dihasilkan pada substrat jerami padi dan kulit kopi dengan penambahan kotoran sapi dan rumen (KS+R) dan kotoran sapi (KS).	IV-13
Grafik IV.11 Hubungan antara $\ln X_0/X$ hasil hitung terhadap waktu pada substrat jerami padi dengan pretreatment dengan penambahan Kotoran sapi + rumen (KS+R) dan kotoran sapi.	IV-115
Grafik IV.12 Hubungan antara $\ln X_0/X$ hasil hitung terhadap	

	waktu pada substrat kulit kopi tanpa pretreatment dengan penambahan Kotoran sapi + rumen (KS+R) dan kotoran sapi.	IV-15
Grafik IV.13	Hubungan antara $\ln X_0/X$ hasil hitung terhadap waktu pada substrat kulit kopi dengan pretreatment dengan penambahan Kotoran sapi + rumen (KS+R) dan kotoran sapi.	IV-16
Grafik IV.14	Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada substrat kulit kopi dengan pretreatment dengan penambahan Kotoran sapi + rumen (KS+R).	IV-16
Grafik IV.15	Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada substrat kulit kopi dengan pretreatment dengan penambahan Kotoran sapi (KS).	IV-19
Grafik IV.16	Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada substrat kulit kopi tanpa pretreatment dengan penambahan Kotoran sapi dan rumen (KS+R).	IV-19
Grafik IV.17	Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada substrat kulit kopi tanpa pretreatment dengan penambahan Kotoran sapi (KS).	IV-20
Grafik IV.18	Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada substrat Jerami padi dengan penambahan Kotoran sapi dan rumen (KS+R).	IV-20
Grafik IV.19	Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada substrat Jerami padi dengan penambahan Kotoran sapi (KS).	IV-21
Grafik IV.20	Hubungan antara $\ln S^0-S$ terhadap waktu pada substrat kulit kopi tanpa pretreatment dengan penambahan Kotoran sapi +rumen (KS+R).	IV-22
Grafik IV.21	Hubungan antara $\ln S^0-S$ terhadap waktu pada substrat kulit kopi tanpa pretreatment dengan penambahan Kotoran sapi (KS).	IV-23
Grafik IV.22	Hubungan antara $\ln S^0-S$ terhadap waktu pada substrat kulit kopi dengan pretreatment	

	penambahan Kotoran sapi (KS).	IV-23
Grafik IV.23	Hubungan antara $\ln S^0-S$ terhadap waktu pada substrat kulit kopi dengan pretreatment dengan penambahan Kotoran sapi dan rumen (KS+R)....	IV-24
Grafik IV.24	Hubungan antara $\ln S^0-S$ terhadap waktu pada substrat Jerami padi dengan penambahan Kotoran sapi dan rumen (KS+R).....	IV-24
Grafik IV.25	Hubungan antara $\ln S^0-S$ terhadap waktu pada substrat Jerami padi dengan penambahan Kotoran sapi (KS).	IV-25
Grafik IV.26	Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ pada substrat kulit kopi tanpa pretreattmen dengan penambahan Kotoran sapi dan rumen	IV-26
Grafik IV.27	Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ pada substrat kulit kopi tanpa pretreattmen dengan penambahan Kotoran sapi	IV-27
Grafik IV.28	Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ pada substrat kulit kopi dengan pretreattmen dengan penambahan Kotoran sapi dan rumen	IV-27
Grafik IV.29	Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ pada substrat kulit kopi dengan pretreattmen dengan penambahan Kotoran sapi	IV-28
Grafik IV.30	Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ pada substrat jerami padi penambahan Kotoran sapi	IV-28
Grafik IV.31	Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ pada substrat jerami padi dengan penambahan Kotoran sapi dan rumen	IV-29

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Beberapa tahun ini, isu ketahanan energi merupakan persoalan krusial yang sedang dihadapi di dunia, termasuk di Indonesia yang sekarang ini sedang dihadapkan dengan tantangan semakin menurunnya cadangan energi fosil yang belum dapat diimbangi dengan penemuan cadangan baru. Sementara kebutuhan energi fosil dalam berbagai wujud, seperti minyak dan gas dari tahun ketahun semakin meningkat. Padahal, dengan meningkatnya ketergantungan terhadap sumber energi fosil dapat menjadi masalah besar karena ketersediannya terus berkurang dan sifatnya yang tidak dapat diperbaharui.

Indonesia memiliki potensi sumber energi alternatif yang melimpah, salah satunya bahan untuk biogas. Beberapa bahan pembuatan biogas yang melimpah tersebut diantaranya dari air limbah rumah tangga, kotoran cair dari peternakan ayam atau sapi, sampah organik dari pasar dan industri makanan, serta dari limbah perkebunan seperti limbah kulit kopi yang jumlahnya sangat banyak namun sayang belum dimanfaatkan secara optimal.

Kopi sebagai komoditas unggulan di Indonesia memiliki produktivitas yang tinggi. Yang mana berdasarkan Dirjen Perkebunan RI (2014) pada tahun 2011, 2012, 2013, 2014, dan 2015 produksi perkebunan kopi berturut-turut adalah 638.646 ton, 691.163 ton, 675.881 ton, 685.089 ton, dan 739.005 ton. Sementara data dari BPS Jawa Tengah (2006), terdapat 26 dari 29 Kabupaten di Jawa Tengah yang termasuk daerah penghasil kopi. Fenomena ini memberikan pengertian bahwa hampir di seluruh wilayah Jawa Tengah ditemukan limbah kulit kopi. Limbah kulit kopi tersebut banyak dihasilkan dari proses pengolahan biji kopi menjadi bubuk kopi, yang sayangnya hanya ditumpuk di sekitar perkebunan rakyat dan tempat usaha penggilingan biji kopi. Secara umum limbah kulit kopi hanya dibanamkan dalam tanah untuk menjadi kompos dan di sebagian

daerah, limbah kulit kopi dibiarkan sehingga dapat menjadi sumber penyebaran hama dan penyakit tanaman (Depertemen Pertanian Direktorat Jendral Perkebunan, 2010: 2).

Dampak polusi organik limbah kopi yang paling berat terjadi pada perairan dimana limbah (effluen) kopi dikeluarkan. Dampak di area ini berupa pengurangan oksigen karena tingginya BOD dan COD, substansi organik terlarut dalam air limbah secara perlahan dengan menggunakan proses mikrobiologi di air yang membutuhkan oksigen dalam air, karena terjadinya pengurangan oksigen terlarut, permintaan oksigen untuk menguraikan material organik melebihi ketersediaan oksigen, sehingga menyebabkan kondisi anaerobik. Kondisi ini dapat berakibat fatal bagi makhluk yang berada dalam air, yang juga menyebabkan bau tak sedap, sehingga mengganggu kesehatan dan mencemari sumber air (Puspita, 2012).

Pemanfaatan limbah kulit kopi sebagai biogas sangat memungkinkan jika ditinjau dari bahan yang dikandungnya. Limbah kulit kopi merupakan limbah organik (padat dan cair) berlignoselulosa non pangan yang biasanya berupa daging buah yang secara fisik komposisi mencapai 48%, terdiri dari kulit buah 42% dan kulit biji 6% (Zainuddin et al, 1995). Limbah kulit kopi mengandung selulosa 63%, hemiselulosa 2,3%, lignin 17%, protein 11,5%, tanin 1,8-8,56% dan pektin 6,5% (Corro et al, 2013). Namun, keberadaan kandungan zat kimia beracun seperti tanin, kafein, dan polifenol menjadikan permasalahan yang dapat menghambat produksi biogas yang diinginkan.

Untuk menghilangkan zat kimia beracun tersebut, dapat dilakukan dengan beberapa *pretreatment*, baik secara kimia, maupun biologis. *Pretreatment* secara kimia memiliki kekurangan diantaranya adalah karena bahan kimia yang dibutuhkan mahal. Sebagai gambaran, untuk menghilangkan kandungan kafein sebanyak 80% dari total kafein yang ada di dalam 1 g biji kopi diperlukan 20 mL ethanol 50%. Sedangkan untuk 1 digester diperlukan substrat sebanyak 480 g, maka total ethanol yang

diperlukan adalah 9600 mL (9.6 L) dengan harga pasaran ethanol 50% Rp. 30.000.

Dalam proses pengolahan kopi menghasilkan limbah yang merupakan sumber kontaminasi dan menimbulkan masalah lingkungan yang serius di negara-negara penghasil kopi. Limbah kulit kopi tersebut belum dimanfaatkan secara baik dan optimal, hal ini terlihat dari menumpuknya limbah kulit kopi di sekitar perkebunan rakyat dan tempat usaha penggilingan biji kopi khususnya di Indonesia. Oleh karena itu, pembuangan kulit kopi menjadi masalah lingkungan yang muncul di seluruh dunia karena pembusukannya. Kondisi ini dapat berakibat fatal untuk makhluk hidup yang berada dalam air dan juga bisa menyebabkan bau, lebih jauh lagi bakteri yang dapat menyebabkan masalah kesehatan dapat meresap ke sumber air minum (Widyotomo, 2012), sehingga pemanfaatan dan manajemen pengolahan limbah kulit kopi sangat diperlukan dan menjadi tantangan di dunia sebelum dibuang ke lingkungan, selain untuk menghasilkan biogas tetapi juga untuk mendegradasi kandungan material beracun seperti *tannin*, *caffeine*, *phenols* yang berbahaya dalam proses biologis (Fan, 2003).

Untuk *pretreatment* kulit kopi secara biologis, salah satunya pernah dilakukan menggunakan mikroorganisme kotoran sapi seperti yang pernah dilakukan oleh Corro, dkk. Mereka menggunakan digester berisi kulit kopi, kotoran sapi, dan campuran antara kulit kopi dan kotoran sapi, namun gas sangat lambat untuk terbentuk. Pada 2 bulan pertama baru hanya terbentuk 0,019 % CH₄ dalam 1liter gas yang dihasilkan dan maksimum gas CH₄ yang dihasilkan hanya 0.07 % per liter dalam waktu 8 bulan (Corro, 2013).

Selain dengan kotoran sapi, mikroorganisme cairan rumen pernah dimanfaatkan untuk pembuatan biogas. Pada tahun 2013 Yasunori Baba, dkk. melakukan penelitian yang bertujuan untuk memperbaiki efisiensi produksi metana dari kertas bekas, dengan menggunakan cairan rumen sebagai *pretreatment*. Hasil penelitian tersebut jauh lebih baik daripada yang tidak

menggunakan *pretreatment*. Dengan data hasil penelitian sebagai berikut; kecepatan degradasi biomassa NDF (dihitung dengan neutral detergent fiber) meningkat setelah produksi metana, dari 63,9% pada kontrol, menjadi 74,8% pada sampel 6 jam dan 75,3% pada sampel 24 jam. Kemudian kecepatan degradasi selulosa naik dari 76,5% menjadi 87,9% pada sampel 6 jam dan dari 76,5% menjadi 85,8% pada sampel 24 jam. Dan kecepatan degradasi hemiselulosa juga meningkat, dari 40,6% menjadi 55,2% pada sampel 6 jam dan dari 40,6% menjadi 57,5% pada sampel 24 jam. Untuk lignin hanya 10,7 % yang terdegradasi pada kontrol, dimana 39,4 % pada sampel 6 jam, dan 51,8% pada sampel 24 jam. *Yield* metana yang dihasilkan pada control adalah 68.2 ml, pada sampel 6 jam sebanyak 177,7 ml, dan pada sampel 24 jam sebanyak 142 ml, sehingga *yield* metana yang dihasilkan adalah 60,8% pada kontrol, 73,4% pada sampel 6 jam, dan 64,2% pada sampel 24 jam. Pada penelitian selanjutnya penulis akan menggunakan mikroorganisme kotoran luwak karena dihipotesa berpotensi untuk mendegradasi komponen selulosa meskipun ada zat beracun/komponen penghambat pertumbuhan bakteri metanasi kulit kopi.

Perhitungan kinetika digunakan pada penelitian ini, beberapa fungsi dari perhitungan ini antara lain untuk mengetahui variabel mana yang laju pertumbuhannya lebih cepat, dapat digunakan untuk parameter perhitungan desain pada digester, serta untuk *scale up* dari digester skala laboratorium ke skala pilot plane. Pada penelitian sebelumnya hanya mempelajari tentang variabel mana yang paling optimum untuk menghasilkan gas yang paling banyak, tetapi tidak menghitung kinetika dari laju pertumbuhan pada setiap variabel/digester yang berbeda. oleh karena itu pada penelitian ini akan dipelajari mengenai kinetika pembentukan biogas dari kulit kopi dengan dan tanpa *pretreatment* feses luwak, dilanjutkan dengan proses fermentasi dengan penambahan mikroorganisme kotoran sapi/campuran mikroorganisme kotoran sapi dan cairan rumen pada masing-masing digester, yang

hasilnya dibandingkan antara substrat jerami padi dengan penambahan variable yang sama.

Dalam penelitian ini, akan digunakan metode *pretreatment* secara mekanis (*size reduction*) terhadap kulit kopi dengan memperkecil ukuran menjadi 35 mesh dan biologis dengan kotoran luwak (*Paradoxurus hermaphroditus*). Rasio antara pemakaian larutan kotoran luwak dengan kulit kopi disesuaikan dengan variabel optimum yang dilakukan oleh Erwanto dkk. (2015) yaitu sebesar 12,5 ml : 1 gram kulit kopi dengan waktu perendaman selama tiga hari. Kotoran luwak digunakan untuk mencegah kemungkinan gagalnya proses degradasi biologis menggunakan mikroorganisme cairan rumen, mengingat bahwa limbah kulit kopi mengandung beberapa zat kimia beracun seperti kafein, tanin, dan polifenol yang penulis perkirakan dapat membunuh mikroorganisme pada kotoran sapi sehingga menyebabkan lambatnya pembentukan gas metana pada penelitian Corro (2013). Kotoran luwak sendiri dipilih karena memiliki bakteri-bakteri yang memiliki aktifitas enzim yang tinggi antara lain xilanolitik, selulolitik (penghancur sel), dan proteolitik (penghancur protein) yang mampu membantu pencernaan luwak dalam melakukan fermentasi kulit dan biji kopi secara anaerobik di dalam ususnya.

I.2. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, maka bisa dirumuskan permasalahan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah kulit kopi mengandung selulosa yang cukup tinggi yaitu sekitar 63% tetapi juga mempunyai komponen *inhibitor* yakni material beracun seperti kafein, tanin, dan polifenol yang sangat menghambat proses biologis dalam proses pendegradasian selulosa menjadi biogas. Dengan adanya penambahan kotoran sapi dan cairan rumen diharapkan mampu mendegradasi komponen inhibitor tersebut dari limbah kulit kopi sehingga dapat menghasilkan jumlah gas metana yang lebih banyak.

2. Penggunaan mikroorganisme kotoran sapi dan cairan rumen pada proses degradasi material beracun limbah kulit kopi untuk produksi gas metana selama ini masih sangat lambat dan kualitas gas yang dihasilkan masih kurang baik.
3. Penggunaan Mikroorganisme kotoran sapi dan cairan Rumen pada proses fermentasi anaerob limbah kulit kopi (dengan pretreatment/tanpa pretreatment feses luwak) perlu ditinjau data kinetika dari pembentukan biogas sehingga diketahui efektifitas dari pretreatment, serta pemakaian kotoran sapi dan cairan rumen.

I.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kinetika pembentukan biogas dari kulit kopi (dengan pretreatment dan tanpa pretreatment feses luwak) menggunakan tambahan kotoran sapi dan campuran cairan rumen + kotoran sapi
2. Membandingkan kinetika pembentukan biogas dari substrat kulit kopi dan jerami padi

I.4. Manfaat Penelitian

1. Pengelolaan limbah kulit kopi menjadi energi alternatif biogas dari bahan baku yang melimpah dan tidak terpakai, sehingga dapat memaksimalkan nilai guna limbah kulit kopi dengan metode yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.
2. Memberikan alternatif dalam mempercepat pendegradasian material beracun seperti kafein, tannin dan *polyphenol* yang sangat menghambat proses degradasi biologis dalam proses pembuatan biogas.
3. Memberikan solusi terhadap permasalahan pemenuhan kebutuhan energi terbarukan yang semakin meningkat akhir-akhir ini dengan mengkonversi limbah kulit kopi menjadi biogas.

I.5. Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium, dengan volume total 20 liter dan volume kerja sebesar 12 liter.
2. Pretreatment kulit kopi dilakukan oleh konsorsium mikroorganisme yang ada di dalam feses, bukan merupakan hasil purifikasi mikroorganisme feses luwak.
3. Cairan rumen dan kotoran sapi yang dipakai berasal dari sumber yang sama, yaitu Tempat Pemotongan Hewan di Surabaya
4. Parameter kinetika ditinjau dari nilai konstanta michaelis-menten (K_m), konstanta laju kinetika pertumbuhan mikroorganisme (μ), yield pertumbuhan mikroorganisme (Y), yield pembentukan biogas (y), dan yield pembentukan biogas maksimum (y_m)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Bahan Baku

II.1.1 Kulit Kopi

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit kopi. Menurut Londra (2002) hasil pengolahan kopi akan menyisakan limbah, yaitu kulit buah dan kulit biji. Limbah kopi dibedakan menjadi dua macam, yaitu limbah pada pengolahan kopi merah (masak) dan limbah pengolahan kopi hijau (mentah). Pengolahan kopi merah diawali dengan pencucian, perendaman, dan pengupasan kulit luar. Proses ini akan menghasilkan 65% biji kopi dan 35% limbah kulit kopi. Limbah kulit kopi selama ini tidak mengalami pemrosesan di pabrik karena yang digunakan hanya biji kopi yang kemudian dijadikan bubuk kopi instan (Budiman, 2010).

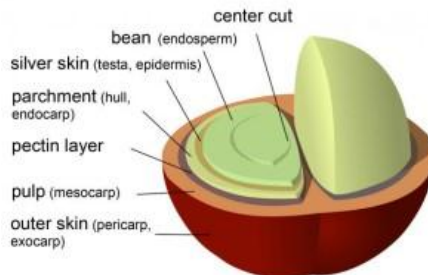
Pengolahan kopi secara basah akan menghasilkan limbah padat berupa kulit buah pada proses pengupasan buah (pulping) dan kulit tanduk pada saat penggerbusan (*hulling*). Limbah padat kulit buah kopi (pulp) belum dimanfaatkan secara optimal, umumnya ditumpuk di sekitar lokasi pengolahan selama beberapa bulan, sehingga timbulnya bau busuk dan cairan yang mencemari lingkungan.

Limbah kulit buah kopi memiliki kadar bahan organik dan unsur hara yang memungkinkan untuk memperbaiki tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar C-organik kulit buah kopi adalah 45,3 %, kadar nitrogen 2,98 %, fosfor 0,18 % dan kalium 2,26 %. Selain itu kulit buah kopi juga mengandung unsur Ca, Mg, Mn, Fe, Cu dan Zn. Dalam 1 ha areal pertanaman kopi akan memproduksi limbah segar sekitar 1,8 ton setara dengan produksi tepung limbah 630 kg (Dirjen Perkebunan, 2008).

Limbah kulit kopi yang diperoleh dari proses pengolahan kopi dari biji utuh menjadi kopi bubuk. Proses pengolahan kopi ada 2 macam, yaitu (1) Pengolahan kopi merah/masak dan (2) Pengolahan kopi hijau/mentah. Pengolahan

kopi merah diawali dengan pencucian dan perendaman serta pengupasan kulit luar, proses ini menghasilkan 65% biji kopi dan 35% limbah kulit kopi. Limbah kopi sebagian besar dimanfaatkan sebagai pupuk pada tanaman kopi dan tanaman disekitarnya, sebagian kecil digunakan sebagai media budidaya jamur serta dimanfaatkan sebagai bahan jamu tradisional. Biji kopi kemudian dikeringkan dengan oven dan hasilnya adalah biji kopi kering sebanyak 31%, kemudian kopi ini digiling dan menghasilkan 21% beras kopi (kopi bubuk) dan 10% berupa limbah kulit dalam. Limbah yang dihasilkan dari proses ini (kulit dalam) pada umumnya dimanfaatkan sebagai pupuk, namun sebagian diantaranya dimanfaatkan oleh pengrajin jamu tradisional sebagai bahan jamu (Muryanto dkk., 2004) .

Kulit kopi terdiri dari 3 (tiga) bagian, yaitu : 1). Lapisan bagian luar tipis yakni yang disebut "*Exocarp*"; lapisan ini kalau sudah masak berwarna merah. 2). Lapisan Daging buah; daging buah ini mengandung serabut yang bila sudah masak berlendir dan rasanya manis, maka sering disukai binatang kera atau musang. Daging buah ini disebut "*Mesocarp*". 3). Lapisan Kulit tanduk atau kulit dalam; kulit tanduk ini merupakan lapisan tanduk yang menjadi batas kulit dan biji yang keadaannya agak keras. Kulit ini disebut "*Endocarp*".



Gambar II.1 Gambar Struktur Kopi (Feedipedia.org)

Kulit buah kopi merupakan limbah dari pengolahan buah kopi untuk mendapatkan biji kopi yang selanjutnya digiling

menjadi bubuk kopi. Kandungan zat makanan kulit buah kopi dipengaruhi oleh metode pengolahannya apakah secara basah atau kering seperti terlihat pada Tabel II.1. Kandungan zat makanan kulit buah kopi berdasarkan metode pengolahan. Pada metode pengolahan basah, buah kopi ditempatkan pada tangki mesin pengupas lalu disiram dengan air, mesin pengupas bekerja memisahkan biji dari kulit buah. Sedangkan pengolahan kering lebih sederhana, biasanya buah kopi dibiarkan mengering pada batangnya sebelum dipanen, selanjutnya langsung dipisahkan biji dan kulit buah kopi dengan menggunakan mesin (Rury dan Titik, 2013).

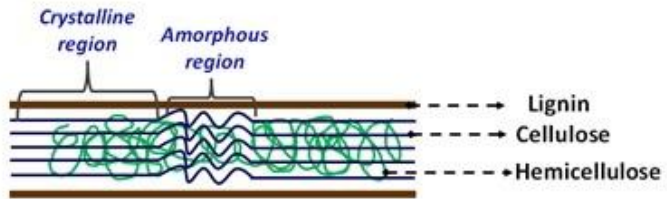
Tabel II.1 Kandungan Kulit Kopi

No	Kandungan	Prosentase (%)
1	Selulosa	63
2	Hemiselulosa	2,3
3	Lignin	17
4	Protein	11,5
5	Tanin	1,8-8,56
6	Pektin	6,5
7	Kafein	1,3

(Corro,dkk 2013)

II.2 Bahan Berlignoselulosa

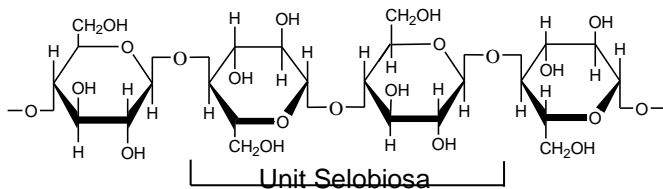
Bahan berlignoselulosa sebagian besar terdiri dari tiga jenis polimer yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang terkait satu sama lain (Fengel dan Wegener, 1984). Selulosa memiliki sub unit D-Glukosa yang dihubungkan dengan ikatan β -1,4 glisosidik (Fengel dan Wegener, 1984). Selulosa pada tanaman terdiri dari bagian-bagian dengan kristal terstruktur, dan bagian-bagian tidak terstruktur (*amorf*).



Gambar II.2 Struktur selulosa, hemiselulosa, dan lignin

II.2.1 Selulosa

Selulosa ($C_6H_{16}O_5$)_n adalah bagian utama tanaman, berupa homopolisakarida dengan derajat polimerisasi n . Derajat polimerisasi untuk selulosa tumbuhan adalah 305 sampai 15.300 (Widjaja, 2009) ditunjukkan oleh **Gambar II.3**.



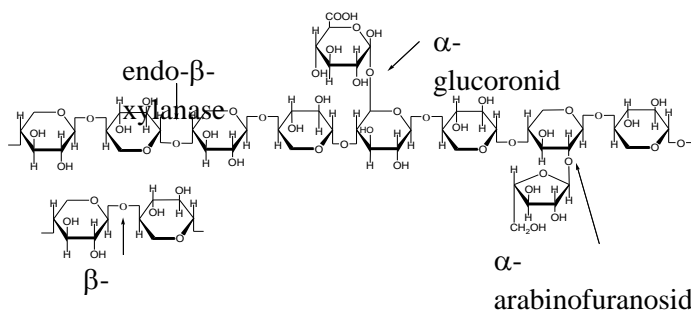
Gambar II.3 Struktur molekul selulosa

II.2.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah struktur karbohidrat kompleks yang terdiri dari polimer yang berbeda seperti pentosa (seperti xilosa dan arabinosa), heksosa (seperti manosa, glukosa, dan galaktosa), dan asam gula. Komponen dominan hemiselulosa dari kayu keras dan tanaman pertanian, seperti rumput dan jerami adalah xilan, sementara untuk kayu lunak adalah glukomanan (Fengel dan Wegner, 1984; Saha, 2003).

Hemiselulosa berfungsi menghubungkan antara lignin dan serat selulosa dan membuat jaringan antara selulosa, hemiselulosa, dan lignin menjadi lebih kaku (Laureano-Perez dkk., 2005).

Hemiselulosa adalah polimer dengan rantai yang relative lebih pendek dan bercabang, terdiri dari monomer-monomer seperti xilosa, arabinosa, glukosa, manosa, dan galaktosa dengan struktur *amorf* (Bailey dan Ollis, 1986). Hemiselulosa berfungsi sebagai pendukung dinding sel dan sebagai perekat. Struktur polimer hemiselulosa ditunjukkan oleh **Gambar II.4**.

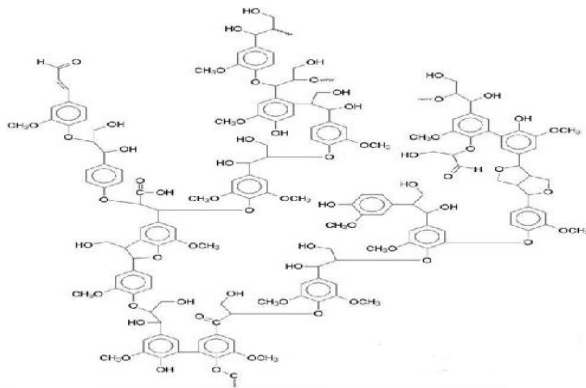


Gambar II.4 Struktur molekul hemiselulosa (Ileana,2014)

II.2.3 Lignin

Lignin adalah salah satu polimer yang berlimpah di alam dan terdapat di dinding sel. Lignin sama seperti hemiselulosa, biasanya larut dalam air pada 180 °C dalam kondisi netral (Bobleter, 1994). Kelarutan lignin dalam kondisi asam, netral atau alkali tergantung pada prekursor (*p*-kumaril, koniferil, alkohol *synapil* atau kombinasi masing-masing) dari lignin (Grabber, 2005).

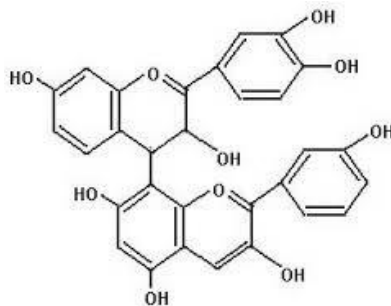
Lignoselulosa adalah polimer yang *amorf* dengan berat molekul yang besar dan struktur yang kompleks. Lignoselulosa lebih tahan terhadap serangan jamur, bakteri dan proses hidrolisis oleh asam (Widjaja, 2009).



Gambar II.5 Struktur molekul lignin (Sjöström 1993; Fengel & Wegener 1989).

Selulosa adalah penguat batang tanaman, lignoselulosa berfungsi melindungi selulosa dari kerusakan kimiawi dan biologis, sedangkan hemiselulosa adalah pengikat keduanya (Lee, 1992).

II.2.4 Tanin



Gambar II.6 Struktur molekul tanin

Fungsinya adalah:

- pada buah belum matang berfungsi sebagai energi dalam metabolismenya

- pengendap protein dan pengkhelet logam
- senyawa pelindung bagian dalam dan luar jaringan tanaman

Tanin terbagi menjadi tanin terhidrolisis dan terkondensasi. Tanin terhidrolisis biasanya terdapat pada tanaman berkeping dua (dikotil). Tanin terkondensasi biasanya menghasilkan asam klorida. Sifat senyawa tanin, apabila dilarutkan dengan air membentuk koloid dengan rasa asam dan sepat, apabila dicampur alkali dan garam membentuk endapan (www.kamuskesehatan.com).

II.3 Proses Pretreatment Bahan Berlignoselulosa

Proses pretreatment diperlukan untuk mempermudah degradasi bahan berlignoselulosa, hemiselulosa dan selulosa sehingga mudah dihidrolisis dan difermentasikan secara anaerobik untuk menghasilkan metana.

Proses degradasi bahan berlignoselulosa dari limbah pertanian dipengaruhi oleh komposisi substrat limbah, kristalinitas selulosa dan ukuran partikel. Proses *pretreatment* yang dilakukan adalah secara mekanis dan kimiawi. *Pretreatment* mekanis yang dipakai adalah *milling* dan *attrition*. *Pretreatment* kimiawi bertujuan untuk menghancurkan ikatan lignin sehingga komponen hemiselulosa dan selulosa lebih mudah didegradasi. Beberapa *pretreatment* kimiawi bahan diantaranya adalah *pretreatment* asam dan *pretreatment* basa dan *pretreatment* ammonia (Mosier dkk., 2005). *Pretreatment thermal* dilakukan dengan *wet oxidation* (Fox dan Noike, 2004).

Selain menggunakan pretreatment kimiawi dan mekanis, *pretreatment* biologis juga dipakai dalam proses degradasi lignoselulosa. Salah satu *pretreatment* biologis yang dipakai adalah penggunaan *rumen fluid* atau cairan rumen (Baba dkk. 2013).

Penelitian mengenai perombakan lignin selama ini banyak dilakukan pada jamur *wood rot fungi*, hanya beberapa penelitian yang melaporkan penggunaan bakteri sebagai

perombak lignin (Odier dkk., 1981). Hasil penelitian Ruttimann dkk., (1991) menunjukkan bahwa bakteri memiliki kemampuan enzimatik dalam penggunaan senyawa aromatik bercincin (*aromatic ring*) dan rantai samping yang ada pada lignin. Bakteri juga berperan dalam perombakan lebih lanjut pada senyawa *intermediate* hasil perombakan jamur (Ruttimann dkk., 1991). Dua kelompok bakteri perombak lignin adalah *Pseudomonas* dan *Flavobacterium* (Subba Rao, 2001). Genus bakteri perombak lignin lainnya adalah *Micrococcus* dan *Bacillus* yang diisolasi dari sampah domestik (Martani dkk., 2003), kedua isolat ini dilaporkan mampu mendegradasi lignin masing-masing 75 % dan 78 %.

Enzim perombak lignin dihasilkan oleh aktinobakteria dari genus *Streptomyces*. Walaupun biodegradasi lignin umumnya terjadi secara aerob, namun beberapa peneliti telah melaporkan bahwa mikroba anaerob dalam rumen dipercaya dapat merombak lignin (Peres dkk., 2002, dan protein enzim serupa lakase dari bakteri telah diisolasi dan digunakan dalam proses pembuatan kompos.

Beberapa penelitian mengenai perombakan anaerob untuk mengubah biomassa lignoselulosa menjadi metana telah dilakukan, namun dibutuhkan pengembangan lebih lanjut dari teknologi ini, misalnya dengan pemilihan bakteri yang toleran terhadap lingkungan agar diperoleh potensi ekonominya. Akin dan Benner (1988) mengatakan bahwa bakteri rumen memiliki efektivitas lebih tinggi dibandingkan jamur dalam merombak lignin menjadi gas. Derivat lignin dalam lingkungan anaerob merupakan prekursor pembentuk gas metan (Colberg, 2001).

Contoh perbandingan kecepatan degradasi selulosa setelah produksi metana pada kondisi dan pretreatment yang berbeda ditunjukkan dalam **Tabel II.2** dibawah ini.

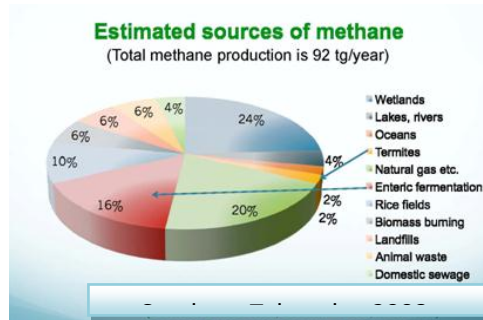
Tabel II.2 Perbandingan Rate Degradasi Selulosa Pada Berbagai Kondisi

<i>Pretreatment</i>	Kondisi	Biomassa	Degradation Rate (%)	Peneliti
Tanpa Pretreatment	-	Pulp, paper sludge	25	Lin dkk. (2011)
Kimiawi (alkali)	37°C, 6 Jam	Pulp, paper sludge	65,35	Lin dkk. (2009)
Thermal (Wet Oxidation)	190°C, 1 jam	Newspaper	88	Fox dan Noike (2004)
Biologis (Rumen Fluid)	37°C, 6 Jam 37°C, 24 Jam	Lmbah Kertas Limbah Kertas	87.9 85.8	Baba dkk. (2013) Baba dkk. (2013)

Sumber : Baba dkk. (2013)

II.4 Metana

Metana adalah senyawa hidrokarbon gugus alkana dengan satu atom C tunggal (C1) dan empat ikatan tunggal atom hidrogen (Fessenden, 1986). Metana memiliki titik didih -161.5°C dan titik beku -183°C (Solomons, 1976). Metana bisa didapatkan secara alami dari alam, dan juga bisa didapatkan dari proses anaerobic bahan organik. Metana yang berasal dari proses *enteric fermentation* / hewan ternak, adalah salah satu sumber dari *green house gas* (GHG) (Takeneka, 2008). Potensi efek gas rumah kaca yang dihasilkan oleh metana 23x lebih kuat dari efek yang ditimbulkan oleh karbondioksida. Total estimasi sumber metana seluruh dunia adalah 92 ton gros per tahun, dengan komposisi 24 % dari lahan gambut, 20 % dari *natural gas*, 16 % dari *enteric fermentation* data dari IPCC tahun 1992. Sebagian besar proses *enteric fermentantion* adalah proses yang terjadi pada rumen (Takeneka, 2008). Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar II.7**



Gambar II.7 Estimasi sumber metana (Takaneka, 2008)

Berdasarkan sumbernya, komposisi *property* CH_4 bisa dilihat dari Tabel II.3 dengan komposisi CH_4 terbesar adalah pada biogas sebanyak 70 – 90% CH_4 dan gas alam sebanyak 90%. Salah satu kekurangan dari CH_4 yang bersumber dari biogas adalah kandungan H_2S dan CO_2 yang masih tinggi dari pada CH_4 yang bersumber dari gas alam.

Tabel II.3 Komposisi Rata-Rata Properti dari CH_4 pada Sumber Biogas yang Berbeda

Gas	Biogas	Landfill gas	Natural Gas
CH_4	70-90	65-65	90
Hydrocarbon (%)		0	9
H_2 (%)		0-3	0
CO_2 (%)	0-40	15-50	1
N_2 (%)	0.2	5-40	0.3
O_2 (%)		0-5	0
H_2S (ppm)	0 - 4000	0-100	3
NH_3	100	5	0
Heating value, (kWh/Nm ³)	6.5	4.4	11.0

Sumber : Grande, 2007

II.4.1 Sifat Fisik dan Kimia Metana

Sifat fisika metana sebagai berikut :

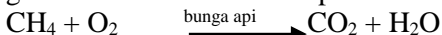
- Berat molekul : 16,04 gram/mol
- Densitas : $7,2 \times 10^{-4}$ gram/ ml (pada 1 atm dan 0°C)
- Titik didih : $-161,4^{\circ}\text{C}$
- Titik leleh : $-182,6^{\circ}\text{C}$
- Nilai kalor CH_4 : 13.279,302 Kkal/kg (Fessenden, 1989)
- Nilai kalor biogas: 6.720 – 9660 Kkal/kg (Harasimowicz dkk., 2007)
- d_p : $3,8^{\circ}\text{A}$ (Wen-Hui Lin dkk., 2001)
- T_c : 109,4 K (Pabby dkk., 2009)
- Solubilitas metana dalam air dapat dilihat dalam Tabel II.4

Tabel II.4 Solubilitas Metana dalam Air (Perry, 1997)

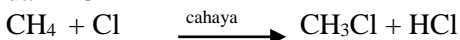
$T, ^{\circ}\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30	35
$10^{-4} \times H$	2,24	2,59	2,97	3,37	3,76	4,13	4,49	4,86
$T, ^{\circ}\text{C}$	40	45	50	60	70	80	90	100
$10^{-4} \times H$	5,20	5,51	5,77	6,26	6,66	6,82	6,92	7,01

Sifat kimia metana (Fessenden, 1989) sebagai berikut:

- Reaksi pembakaran sempurna gas metana menghasilkan gas karbondioksida dan uap air.



- Reaksi halogenasi gas metana menghasilkan klorometana dan HCl



II.4.2 Manfaat Biogas dalam Kehidupan

Manfaat pembuatan biogas dari antara lain:

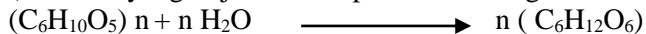
1. Gas yang dihasilkan dapat mengganti *fuel* seperti LPG atau natural gas, dimana $1,7 \text{ m}^3$ biogas setara dengan 1 liter *gasoline*.

2. Gas yang dihasilkan dapat digunakan untuk sumber energi menyalakan lampu, dimana 1 m³ biogas dapat digunakan untuk menyalakan lampu 60 Watt selama 7 jam.
3. Limbah digester biogas, baik yang padat atau cairan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik.

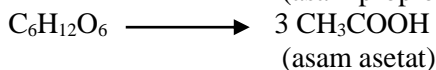
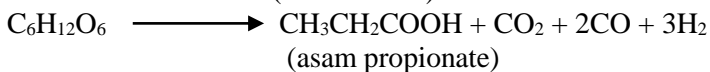
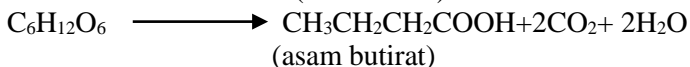
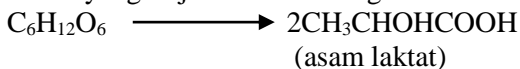
II.5 Mekanisme Proses Anaerobik dalam Menghasilkan Metana

Metana adalah salah satu gas yang dihasilkan dalam proses pembuatan biogas. Biogas dihasilkan dari proses anaerobik senyawa organik kompleks, seperti lipid polisakarida, protein, lemak, asam nukleat dan lain sebagainya (Yadvika dkk., 2004). Prosesnya bisa dibagi dalam tiga tahap sebagai berikut :

1. Tahap Hidrolisis ; Proses hidrolisis memecah molekul organik kompleks menjadi unit yang lebih kecil sebagai contoh gula / monosakarida, asam amino, *alcohol*, *fatty acid*, dan senyawa *organic* lain yang lebih sederhana. Proses ini dibantu oleh bakteri *strict anaerob* seperti *Bactericides*, *Clostridia* dan *facultative anaerob* seperti *Streptococcus* (Yadvika dkk., 2004). Reaksi yang terjadi dalam proses ini sebagai berikut :



2. Tahap Acidogenesis ; pada proses ini bakteri *acidogenic* (bakteri penghasil asam) memecah molekul gula menjadi *volatil fatty acid* misalnya laktat, butirrat, propionat, dan asetat, juga terbentuk CO₂, NH₃, H₂S dan H₂ (Grande, 2007) . Jenis reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Pada proses ini, bakteri acetanogen mengubah molekul organik menjadi CO₂ dan utamanya adalah asam asetat. Bakteri ini adalah *Syntrophobacter wolinii* (mendegradasi propionat menjadi asam asetat, CO₂ dan H₂) dan *Syntrophobacter wolinii* mengoksidasi asam lemak bersama dengan bakteri pengguna H₂. Propionat, asam lemak berantai panjang, alkohol, beberapa senyawa aromatik seperti benzoat dan asam – asam organik lainnya diproduksi oleh bakteri acetogen bersama – sama dengan bakteri metanogen. Degradasi propionat menurut reaksi:

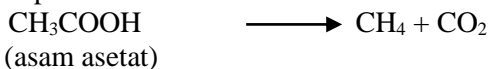


3. Tahap Metanogenesis ; pada proses ini, bakteri *Methanogenic archaea* seperti *Methanosarcina Sp* dan *Methanothrix Sp* yang mengubah H₂ dan asam asetat menjadi CO₂, CH₄ dan air, dan mengubah H₂ dan asam propionat menjadi CH₄ dengan bakteri *Methanobacterium*, *Methanococcus* (Yadvika dkk., 2004). Jenis-jenis reaksinya adalah sebagai berikut :

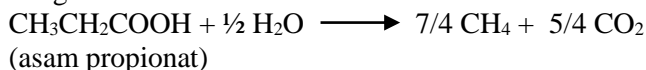
a) *Hydrogenotrophic metanogens*, proses metanogen yang menggunakan hidrogen dan bereaksi dengan karbon dioksida.



b) *Acetrophic metanogens*, disebut juga *acetoclastic* atau metanogen yang memecah asam asetat menjadi metana dan CO₂ oleh bakteri *Methanosarcina Sp* dan *Methanothrix Sp*.



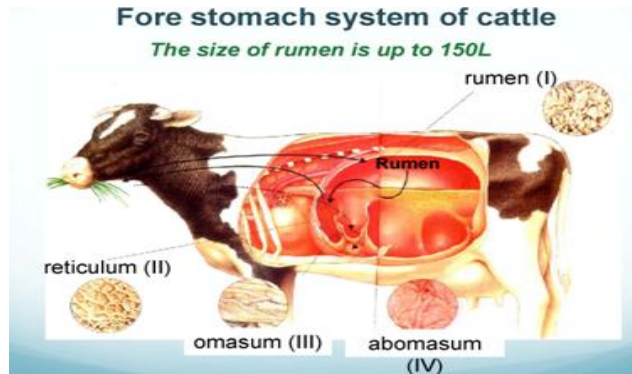
c) Pembentukan metana dari asam propionate yang bereaksi dengan air



d) Proses metanogenesis dengan reaksi antara asam butirat dengan air dan karbondioksida

II.6 Cairan Rumen

Rumen adalah bagian pertama (*first stomach*) didalam lambung sapi yang harus dilewati sebelum makanan dicerna lebih lanjut oleh sistem pencernaan lainnya. Ukuran rumen adalah 150 – 200 L seperti tampak pada **Gambar II.9**.



Gambar II.9 Rumen dan tampak samping perut sapi (Takeneka, 2008)

Rumen fluid dari sapi mengandung dua quadrillion bakteri dan 1 miliar protozoa. Banyak diantara bakteri tersebut adalah mikroorganisme selulotik anaerobik, dan mampu menghidrolisis selulosa dengan efisiensi yang tinggi, dengan waktu tinggal *solid/ solid residence time* (SRT) yang sangat pendek (sekitar 23-30 jam) (Chynoweth dkk. 2003; Hungate, 1966; Song dkk. 2005). Komposisi lengkap mikroroganisme cairan rumen berdasarkan populasinya dijelaskan dalam Tabel II.5 dibawah ini:

Tabel II.5 Komposisi Mikroorganisme Cairan Rumen

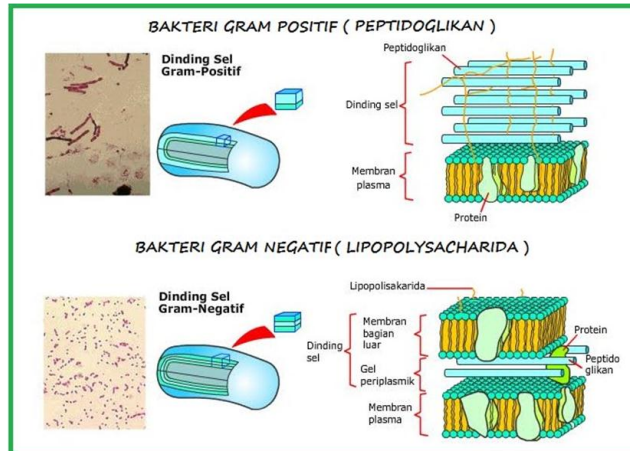
Nama Mikroorganisme	Jumlah
Protozoa	10^6 /g
Arcaea	10^8 /g

Bakteri	$10^{10}/g$
Fungi	$10^4/g$

(Sumber : Takeneka, 2008)

Fungsi cairan rumen menurut Takeneka (2008) adalah mendegradasi fiber, menghasilkan protein, menghasilkan VFAs, memecah nutrisi, dan menghasilkan metana.

Bakteri pada rumen umumnya terdiri dari gram positif dan gram negatif. Bila bakteri menunjukkan warna ungu, maka dikelompokkan pada jenis bakteri gram positif, dan bila bakteri menunjukkan warna merah maka dikelompokkan pada jenis gram negatif. Hal ini untuk membedakan jenis bakteri berdasarkan ketebalan lapisan peptidoligen dengan ketebalan 20-80 nm pada bakteri gram positif dan 78 nm pada bakteri gram negative (Fitria, 2016). Bakteri gram positif seperti *Staphylococcus aureus* (bakteri patogen yang umum pada manusia) hanya mempunyai membran plasma tunggal yang dikelilingi dinding sel tebal berupa peptidoligen. Sekitar 90% dari dinding sel tersebut tersusun atas peptidoligen sedangkan sisanya berupa molekul lain bernama asam teikhoat. Di sisi lain, bakteri gram negatif (seperti *E. coli*) memiliki sistem membran ganda di mana membran pasmanya diselimuti oleh membran luar permeabel. Bakteri ini mempunyai dinding sel tebal berupa peptidoligen, yang terletak di antara membran dalam dan membran luarnya yang dapat dilihat pada **Gambar II.10** (Wikipedia, 2014).



Gambar II.10 Struktur dinding bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif

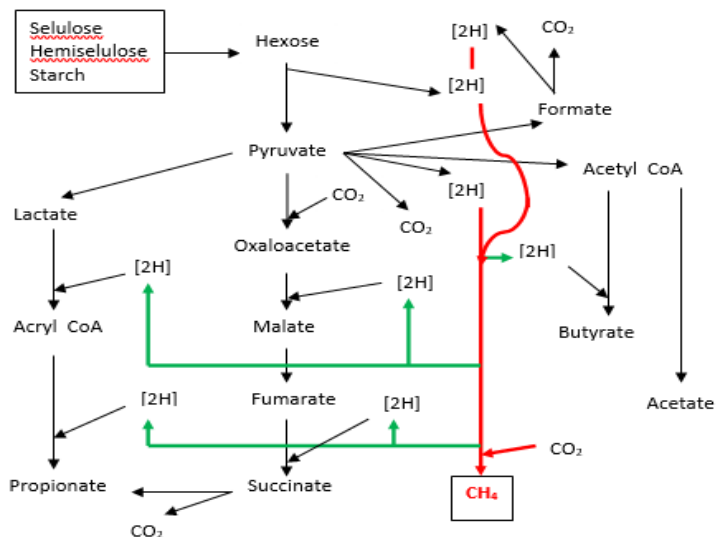
Jenis bakteri utama rumen (Takeneka, 2008) menurut dengan fungsinya bisa dilihat dalam Tabel II.6 dibawah ini:

Tabel II.6 Bakteri Utama Rumen (Takeneka, 2008)

Fungsi	Jenis Bakteri	Morfologi Bakteri
Pendegradasi selulosa	- <i>Fibrobacter succinogens</i> - <i>Ruminococcus Albus</i> - <i>Ruminococcus flavefaciens</i>	Gram -, batang/ rods Gram +, coccus/cocci Gram +, coccus/cocci
Pemakan hemiselulosa dan pectin	- <i>Prevotella ruminocola</i> - <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	Gram -, batang/rods Gram +, batang/rods
Starch Fermenter (pemfermentasi pati)	- <i>Ruminobacter amylophilus</i> - <i>Streptococcus bovis</i>	Gram -, rods Gram +, rods
Pemakan asam organic	- <i>Megasphaera elsdenii</i> - <i>Selenomonas ruminantium</i>	Gram -, cocci Gram -, rods

Setiap tahun jumlah hewan ternak diseluruh dunia meningkat 15 miliar ekor, dengan jumlah total sebanyak 3 billion sapi. Yang membutuhkan 10000 MT material berselulosa untuk di konsumsi (Takeneka, 2008). Jadi sumber mikroba rumen sangat melimpah untuk dimanfaatkan. Potensi limbah cairan rumen di RPH Pegirian Surabaya adalah 260 ekor sapi (rata-rata yang dipotong tiap hari) x 200 L = 5200 liter/hari atau dalam satu bulan sekitar 7800 ekor sapi atau 1.560.000 liter/per bulan (www.kanalsatu.com).

Mekanisme Produksi Metana Secara Anaerob di dalam Rumen



Gambar II.11 Mekanisme produksi metana di dalam rumen (Takeneka, 2008)

Seperti pada **Gambar II.11** selulosa, hemiselulosa dan *starch* (bubur pati) akan terhidrolisi menjadi glukosa yang akan dipecah menjadi hexosa, kemudian hexosa akan menghasilkan asam piruvat dan dua atom hydrogen. *Pyruvate* akan terurai lagi

menjadi asam laktat, asam format, oxaloasetat, *acetyl CoA*, karbondioksida, dan dua atom hidrogen. Kemudian karbondioksida yang terbentuk akan bereaksi dengan oxaloasetat menjadi asam malat, sedangkan hidrogen yang terbentuk akan bereaksi dengan asam laktat menjadi *Acryl CoA*, *Acryl CoA* akan bereaksi lagi dengan sisa hidrogen menjadi asam propionat. Hidrogen juga akan bereaksi dengan asam malat membentuk asam fumarat. Asam fumarat juga bereaksi dengan hidrogen membentuk *succinate*, sedangkan *succinate* akan terurai menjadi CO_2 dan asam propionat.

Asam format yang terbentuk dari piruvat akan terurai menjadi CO_2 dan H_2 . *Acetyl CoA* akan bereaksi dengan hidrogen membentuk butirat, dan sisanya akan terurai menjadi asam asetat. CH_4 akan terbentuk sebagai produk akhir dari reaksi antara H_2 dengan CO_2 .

Tabel II.7 Substrat untuk Bakteri *Methanogens* di dalam Rumen

Jenis Bakteri	Substrat
Methanobacteriaceae: - <i>Methanobacterium formicicum</i> - <i>Methanobrevibacter ruminantium</i> - <i>Methanobrevibacter smithii</i> - <i>Methanobrevibacter curvatus</i> - <i>Methanosphaera stadtmanae</i>	H_2/CO_2 , Formate
Methanomicrobiaceae : - <i>Methanomicrobium mobile</i>	H_2/CO_2 , Formate (tidak menggunakan asetat)
Methanosarcinaceae : - <i>Methanosarcina mazei</i> - <i>Methanosarcina barkeri</i>	Asetat, Methanol, Metylamines $\rightarrow \text{CH}_4$

II.7 Kotoran Sapi

Kotoran sapi mengandung sedikit selulosa, lignoselulosa, lignin, dan komponen organik yang baik untuk

pertumbuhan bakteri dalam produksi biogas (Corro dkk., 2013). Kotoran sapi mengandung bakteri dan mikroorganisme sebagai berikut,: *Clostridium*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Enterobacteriaceae* (*E. Coli*), *Ruminococcus*, dll (Alfa dkk., 2014).

Populasi bakteri didominasi oleh bakteri strict anaerob; seperti : *Bacteroides sp*, *Colistridium sp*, dan *Bifidobacterium*, kemudian bakteri facultative anaerob dan patogen seperti *Enterobacteriaceae*; seperti *E. Coli*, *Salmonella sp*, *Shigella sp*, dll, bakteri-bakteri yang lain juga mengikuti secara konsisten, sebanyak 43 jenis bakteri (Dowd dkk., 2008).

Seperti yang terlihat pada tabel II.8 bakteri *Ruminococcus sp*. hanya terdapat 3.57% dari total populasi bakteri yang ada, bakteri ini adalah bakteri pendegradasi selulosa yang berada dalam jumlah yang sedikit daripada bakteri lainnya. Sedangkan bakteri pendegradasi hemiselulosa dan lignoselulosa tidak ditemukan. Fungsi bakteri dan fungi pada kotoran sapi adalah membebaskan nitrogen, *Basillus* dan *Pseudomonas* berfungsi melarutkan fosfat sebagai biofertilizer, *Basillus* juga melarutkan silikat dan zinc untuk menghidupkan *Rhizobakteria*, *Aspergillus* dan *Penicilicum* juga berfungsi melarutkan *phosphate* (Alfa dkk., 2014)

Tabel II.8 Bakteri yang Terdapat pada Kotoran Sapi (n = 20)

ID	Nomer Sequen dari tiap genus	Jumlah sample sapi yang terisi tiap genus	Rata-rata % populasi pada setiap sapi (STD DEV)
Jenis Patogen dan bakteri lain-nya:			
<i>Clostridium sp</i>	8701	20	19 (3.57)
<i>Bacteriodes sp</i>	4326	20	9.26 (2.17)
<i>Porphyromonas sp</i>	3435	20	7.34 (2.28)
<i>Alistipes sp</i>	3051	20	6.61 (1.35)
<i>Lacnhospireae-like</i>	2716	20	5.7 (2.77)

<i>Prevotella sp</i>	2499	20	5.47 (2.13)
<i>Porphyromonas-like</i>	2097	14	6.37 (2.02)
	1871	20	4.11 (2.36)
<i>Bacteroidales sp</i>	1753	20	3.73 (2.18)
<i>Lachnospira sp</i>	1464	19	3.42 (1.97)
<i>Akkemansia sp</i>	1335	20	2.95 (1.91)
<i>Enterococcus sp</i>	883	20	1.88 (0.88)
<i>Firmicutes sp</i>	751	20	1.59 (0.62)
<i>Oscilospira sp</i>	747	13	2.6 (3.19)
<i>Prevotellaceae sp</i>	638	20	1.35 (0.76)
<i>Cytophaga sp</i>	598	19	1.31 (0.53)
<i>Eubacterium sp</i>	575	15	1.65 (0.75)
<i>Francisella sp</i>	534	20	1.15 (0.58)
<i>Papillibacter sp</i>	498	18	1.13 (0.52)
<i>Spiroplasma sp</i>	490	19	1.04 (0.77)
<i>Sedimentibacter sp</i>	411	18	0.93 (0.54)
<i>Treponema sp</i>	409	19	1.14 (0.86)
<i>Victivallis sp</i>	371	13	0.71 (0.49)
<i>Peptococcus sp</i>	310	19	0.68 (0.75)
<i>Echerichia sp</i>	254	17	0.54 (0.24)
<i>Anaerotunas sp</i>	245	20	0.9 (0.44)
<i>Anaerophaga sp</i>	216	10	0.46 (0.23)
<i>Acidaminococcus sp</i>	206	20	0.59 (0.29)
	194	13	0.55 (0.31)
<i>Paenibacillus sp</i>	193	15	0.53 (0.26)
<i>Streptococcus sp</i>	191	15	0.81 (0.94)
<i>Fucophillus sp</i>	191	11	0.78 (0.39)
<i>Flavabacteriaceae sp</i>	190	10	0.53 (0.29)
	187	15	0.64 (0.42)
<i>Alterococcus sp</i>	169	11	0.56 (0.41)
<i>Chrysobacterium sp</i>	168	13	0.44 (0.30)
<i>Catabacter sp</i>	149	15	0.59 (0.41)
<i>Unknown Cluster</i>	146	11	0.41 (0.29)
<i>Peptoseptretptococcus sp</i>	141	15	0.45(0.24)
	117	11	0.37 (0.25)

<i>Roseburia sp</i> <i>Sporabacter sp</i> <i>Clostriceae sp</i> <i>Adholeplasma sp</i> <i>Unknown-Cluster</i>	94	11	0.29 (0.15)
Jenis Bakteri rumen: <i>Ruminococcus sp</i>	3286	20	3.57 (1.35)

Sumber : Dowd dkk., 2008

II.8 Kotoran Luwak

Luwak memiliki nama latin *Paradoxurus hermaphroditus* termasuk family Viverridae bersama dengan jenis musang, genet dan lisang dengan total 71 spesies yang berbeda. Luwak dapat dilihat pada Gambar II.10 merupakan mamalia kecil bersifat nokturnal dan merupakan pemakan buah sebagai sumber makanan utama, dan mamalia serta serangga kecil. Luwak berasal dari Asia Selatan dan Tenggara, tapi mereka bisa ditemukan di seluruh Eropa Selatan-Barat, Asia, Timur India, Afrika, dan Madagaskar. (Bongiovanni, 2014).



(Sumber: <https://cluwak.com/kopi-luwak-coffee-gold-label>)

Gambar II.12 Luwak (*Paradoxurus hermaphroditus*) pemakan buah kopi

Di Indonesia, luwak terkenal sebagai hewan mamalia yang dimanfaatkan petani kopi untuk membantu fermentasi biji kopi dengan menggunakan pencernaannya. Luwak memakan biji kopi yang sudah matang, berwarna merah, yang kemudian dieskresikan berupa feses. Namun, buah kopi yang dimakan tersebut tidak dapat dicerna sempurna, bagian biji buah kopi yang terdapat dalam sistem pencernaannya dikeluarkan bersama feses dalam keadaan masih utuh seperti yang terlihat pada **Gambar II.13**.



(Sumber: www.kabarbisnis.com)

Gambar II.13 Biji Kopi Pada Feses Luwak

Dari **Gambar II.13** di atas, terlihat biji kopi yang sudah tidak lagi dilapisi oleh kulit buah kopi, sehingga dapat diketahui bahwa kulit buah kopi yang dimakan oleh luwak mampu dicerna dengan baik dalam pencernaan luwak. Berdasarkan hasil penelitian Erliza Noor, dikutip dari www.news.okezone.com menyatakan bahwa dalam pencernaan/feses luwak terdapat bakteri-bakteri xilanolitik, selulotik dan proteolitik yang mampu menguraikan senyawa selulosa, hemiselulosa dan protein. “Dari hasil isolasi, dipilih bakteri dari ketiga kelompok tersebut yang memiliki aktivitas enzim tertinggi. Kemudian diperoleh bakteri *Stenotropomonas sp* MH34 (bakteri xilanolitik), *Proteus penneri*

(bakteri selulolitik), dan *Bacillus aerophilus* (bakteri proteolitik) untuk digunakan pada fermentasi padat kopi”.

Dari hasil penelitian tersebut dapat ditarik hipotesa bahwa untuk menyelesaikan masalah karena keberadaan beberapa material beracun seperti alkaloid, tannin dan polyphenolik yang sangat menghambat proses degradasi biologis dalam proses pembuatan biogas.

II.9 Faktor Umum Yang Berpengaruh dalam Proses Anaerobik

Proses anaerobik yang menggunakan mikroorganisme sangat bergantung pada pH, temperatur, HRT, C/N ratio, dan lain-lain, yang secara relatif adalah proses lambat (Yadvika dkk., 2004). Berikut ini adalah hal yang berpengaruh dalam proses anaerobik :

1. Temperatur

Temperatur memiliki pengaruh yang besar pada proses anaerob, proses anaerob bisa terjadi dalam tiga temperatur yang berbeda, yaitu : *psyrphilic* (<30°C), *mesophilic* (30-40°C), dan *thermophilic* (50-60°C). Bakteri anaerob berada dalam kondisi sangat aktif pada kondisi *mesophilic* dan *thermophilic* (Mital, 1996; Umetsu dkk. 1992; Maurya dkk. 1994; Takizawa dkk. 1994; Desaki dan Madamwar, 1994; Zannaki dkk. 1996)

2. pH

pH adalah faktor penting dalam proses anaerob. pH optimum didalam digester adalah 6.8 – 7.2. Jumlah CO₂ dan *volatile fatty acid* akan berpengaruh pada pH digester. Untuk fermentasi anerobik, konsentrasi VFA, asam asetat sebaiknya dibawah 2000 mg/l (Yadvika dkk., 2004). Pada pH diatas 5 efisiensi produksi CH₄ lebih dari 75 % (Jain dan Mattiason, 1998).

3. Pretreatment

Pretreatment diperlukan untuk menaikkan *yield* metana dalam proses anaerobik. *Pretreatment* bertujuan memecah struktur kompleks senyawa organik menjadi molekul yang lebih sederhana,

sehingga bisa diurai oleh mikroorganisme. *Pretreatment* bisa dilakukan dengan berbagai metode seperti berikut ini (Yadvika dkk., 2004): *Pretreatment* dengan alkali atau asam, *predigestion subtract* yang masih baru, termokimia ultrasonik, *ensilasi feed*.

4. Ukuran Partikel

Ukuran substrat tidak boleh terlalu besar karena akan menyulitkan mikroba untuk menguraikannya. Ukuran partikel yang lebih kecil bisa memaksimalkan luas permukaan untuk proses adsorbs substrat yang akan menghasilkan naiknya aktivitas mikroba sehingga bisa menaikkan produksi gas (Yadvika dkk., 2004).

5. C/N Ratio

Perbandingan karbon dengan nitrogen secara umum sudah diketahui bahwa selama proses anaerobik, mikroorganisme menggunakan 25-30 kali lebih banyak karbon dari pada nitrogen, sehingga C/N Ratio yang dibutuhkan dalam proses anaerobik adalah 20-30/ 1 C terhadap N (Bardiya dan Gaur, 1997; Malik dkk. 1987), sedangkan untuk perbandingan COD : N : P untuk proses anaerob adalah 1000 : 12,5 : 2,5 (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

6. Pelarutan Substrat

Karakteristik substrat akan diubah dengan pelarutan sederhana. Air akan mengurangi konsentrasi beberapa unsur seperti nitrogen dan sulfur yang akan mengganggu proses anaerobik. Konsentrasi solid yang tinggi akan menghambat dekomposisi anaerobik (Yuniarta dan Reapradana, 2007).

7. Pengadukan

Pengadukan dibutuhkan untuk memberikan kontak yang lebih besar antara mikroorganisme dan substrat sehingga akan memperbaiki proses *digestion* (Yadvika dkk., 2004). Pengadukan juga berguna untuk memperbaiki produksi gas. (Mohanrao, 1974 ; Aubart dan Farinet, 1983 ; Van dan Faber, 1993).

8. *Seeding of Biogas Plant*

Seringkali diperlukan untuk menambahkan *seeding bacteria* kedalam digester untuk *start-up* proses anaerobik. Penambahan inokulum bertujuan menaikkan *yield* gas dan metana pada biogas (Yadvika dkk., 2004). Penambahan inokulum memungkinkan untuk menaikkan *yield* gas dan untuk mengurangi waktu tinggal (Dangaggo dkk., 1996; Kanwar dan Guleri, 1995 ; Kotsyurbenko dkk. 1993).

9. Solid Concentration

Jumlah substrat yang bisa difermentasikan dari feed dalam satuan volume of *slurry* (VS) didefinisikan sebagai konsentrasi *solid*. Proses fermentasi tidak stabil pada konsentrasi *solid* 7% (kotoran hewan) dan pada level 10% menyebabkan *fermenter overload* (Baserja, 1984). Konsentrasi *solid* 7-9% adalah yang terbaik (Zennaki dkk., 1996). Konsentrasi *solid* bisa juga dinyatakan dengan TS (Total Solid). Terdapat tiga *range* kandungan *solid* yaitu:

- Sistem *Low Solid (LS) Anaerobic Digestion*, mengandung kurang dari 10% *Total Solid (TS)*.
- Sistem *Medium Solid (MS) Anaerobic Digestion*, mengandung 15 hingga 20% *Total Solid (TS)*.
- Sistem *High Solid (HS) Anaerobic Digestion*, mengandung 22 hingga 40% *Total Solid (TS)*. Ketika kandungan total *solid* dinaikkan, maka volume digester menurun, karena jumlah air yang dibutuhkan berkurang

II.10 Kinetika Dasar

Tingkat pertumbuhan kultur *batch* dibawah fase eksponensial pada umumnya diyakini menggunakan model kinetik orde pertama yaitu, tingkat pertumbuhan sebanding dengan massa mikroba dalam sistem. Secara matematis;

$$\frac{dx}{dt} = \mu X$$

(2-1)

Dimana;

$\frac{dx}{dt}$:Tingkat pertumbuhan bakteri (mg / L.s)

X :Konsentrasi sel bakteri (mg / L)

μ = The proporsional konstan dikenal sebagai Laju Pertumbuhan Spesifik

Selama tidak ada perubahan dalam komposisi biomassa dan pasokan makanan tidak terbatas,maka akan aman. Di sisi lain, jika salah satu nutrisi penting ada dalam jumlah terbatas, pertamanya akan habis dan pertumbuhan akan berhenti. Tingkat pertumbuhan maksimum akan sebanding dengan konsentrasi awal di substrat. Terdapat berbagai model empiris yang menjelaskan fenomena ini namun, model yang disajikan oleh (Monod, 1950; Contois, 1959) tampaknya dapat diterima secara luas. Masing-masing diberikan sebagai Persamaan (2-2) dan (2-3);

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \quad (2-2)$$

$$\mu = \frac{\mu_m S}{bX + S} \quad (2-3)$$

μ_m = Laju pertumbuhan spesifik maksimum

S = Konsentrasi pertumbuhan membatasi substrat (Mg / L)

K_s = Setengah kecepatan konstan yaitu, substrat konsentrasi pada satu setengah tingkat pertumbuhan maksimum

X = Konsentrasi biomassa dalam sistem (mg / L).

Jika persamaan (2) dan (3) dikombinasikan maka;

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} \quad (2-4)$$

Sehingga menjadi;

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{kXS}{k_s + S} \quad (2-5)$$

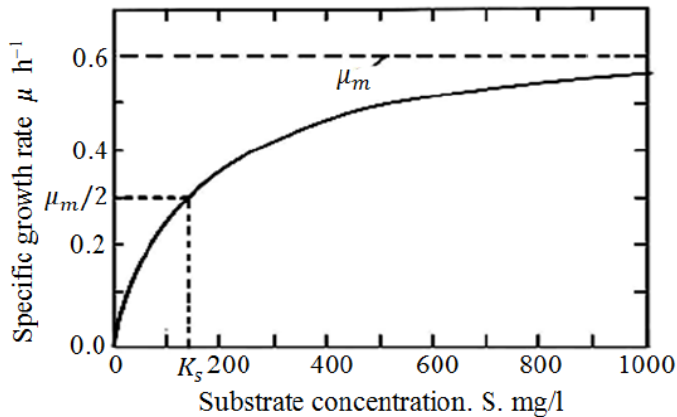
dimana, $-\frac{dS}{dt}$: adalah tingkat konsumsi substrat (g / L.s), k adalah tingkat maksimum pemanfaatan substrat (mg / L.s). Persamaan (2-5) menunjukkan bahwa peningkatan biomassa Hasil konsentrasi dalam meningkatkan penggunaan substrat (Andrews, 1971).

Dengan mendefinisikan Pertumbuhan Yield (Y) sebagai rasio tingkat hasil biomassa ke substrat tingkat konsumsi, maka:

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} \quad (2-6)$$

Atau

$$Y = \frac{\left(\frac{dX}{dt}\right)}{\left(\frac{dS}{dt}\right)} \quad (2-7)$$



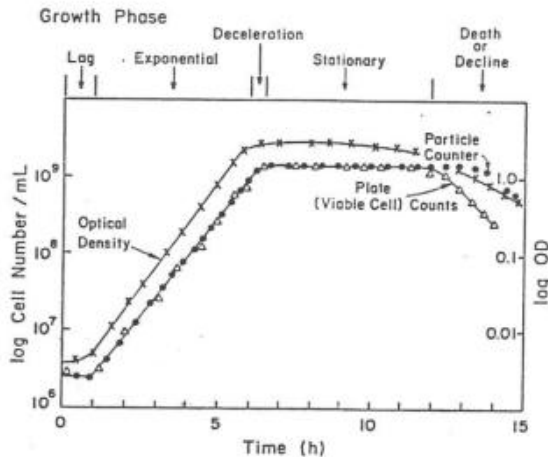
Gambar II.14. Hubungan antara laju pertumbuhan dan Konsentrasi batas pertumbuhan nutrisi (Grady dan Lim, 1980)

Dengan Mengkombinasikan persamaan (2-5) dan (2-7) maka diperoleh persamaan;

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-\mu_m X S}{Y(K_s + S)} \quad (2-8)$$

II.11 Kinetika pertumbuhan

Pertumbuhan mikroba dalam reaktor batch akan melalui tahap-tahap berikut : (1) fase lag, (2) fase logaritmik/eksponensial, (3) fase perlambatan pertumbuhan, (4) fase stasioner dan (5) fase kematian. **Gambar II.16** menjelaskan fase-fase tersebut.



Gambar II.15 Kurva pertumbuhan mikroba pada kultur batch (Shuler and Kargi, 1992)

Fase lag segera terjadi setelah inokulasi, disebut juga sebagai masa adaptasi terhadap lingkungan baru. Mikroorganisme mereorganisasi komponen molekularnya pada saat menyerap nutrisi baru. Komposisi dan jenis nutrisi akan mempengaruhi jenis enzim yang disintesa, enzim yang dibutuhkan akan dibentuk, enzim yang tidak diperlukan akan ditekan. “Mesin” proses di dalam sel menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan baru. Perubahan ini akan terefleksikan dalam mekanisme sel melalui pengaturan proses metabolisme. Selama fase ini massa sel bertambah sedikit tanpa merubah densitas sel. Konsentrasi yang rendah beberapa nutrisi dan faktor pertumbuhan akan menghasilkan fase lag yang panjang. Periode fase lag sangat bergantung pada umur dari inokulum. Inokulum yang optimum akan menghasilkan fase lag yang minimum. Untuk mempersingkat fase lag, sel harus ditumbuhkan pada media dan kondisi pertumbuhan yang optimum, sel harus aktif, dan volume inokulum berkisar antara 5% sampai 10% (Shuler and Kargi, 1992).

Pada fase eksponensial, sel telah beradaptasi dengan lingkungannya yang baru. Sel akan tumbuh dengan cepat, sehingga massa sel dan jumlah sel akan bertambah secara eksponensial terhadap waktu, terjadi *balance growth* yaitu semua komponen dalam sel tumbuh dengan kecepatan yang sama. Komposisi sebuah sel mendekati konstan. Pada *balance growth*, laju pertumbuhan spesifik akan sama baik ditentukan secara massa sel ataupun jumlah sel. Konsentrasi nutrisi pada fase ini besar, maka laju pertumbuhan tidak dipengaruhi oleh konsentrasi nutrisi. Laju pertumbuhan pada fase eksponensial mengikuti persamaan diferensial orde pertama (Shuler and Kargi, 1992).

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (2-9)$$

$X = X_0$ pada $t = 0$

X adalah konsentrasi biomassa (g/l), t adalah waktu (jam) dan μ adalah laju pertumbuhan spesifik (jam^{-1}).

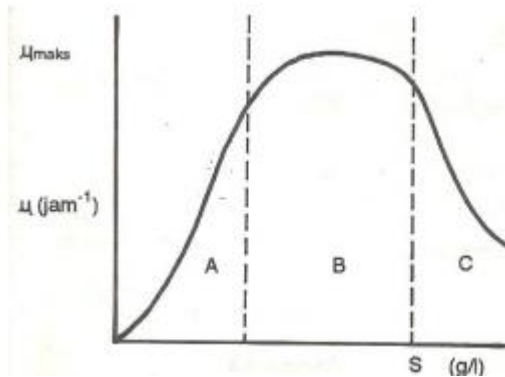
Persamaan diatas merupakan orde satu karena pada persamaan diatas konsentrasi biomassa yang dipangkatkan dengan bilangan satu.

Integrasi persamaan di atas menghasilkan

$$\ln X = \mu t + \ln X_0 \quad (2-10)$$

Pada fermentasi batch, laju pertumbuhan spesifik adalah konstan dan dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi nutrisi. Pada konsentrasi nutrisi awal yang rendah akan menghasilkan laju pertumbuhan yang lebih kecil dari laju pertumbuhan spesifiknya. Hubungan laju pertumbuhan dengan konsentrasi substrat (S) ditunjukkan oleh **Gambar II.16**. Pada daerah A terdapat pembatasan oleh substrat. Pada kondisi ini peningkatan konsentrasi substrat akan meningkatkan laju pertumbuhan mikroba. Pada daerah B tak terdapat pembatasan, dijumpai pada

fasa eksponensial. Pada daerah C terjadi penghambatan oleh substrat. Pada saat S mendekati 0, μ berbanding lurus dengan S, sedangkan jika S berlebihan μ tidak bergantung pada S, $\mu = \mu_m$ (laju pertumbuhan spesifik maksimum) (Mangunwidjaja, 1994).



Gambar II.16 Pengaruh konsentrasi substrat terhadap laju pertumbuhan spesifik (Mangunwidjaja, 1994)

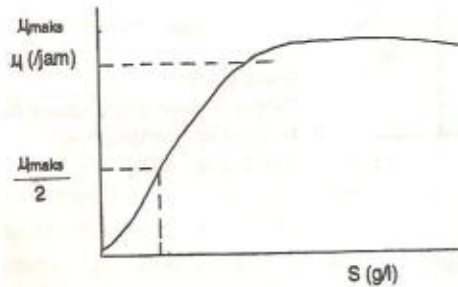
Model unstructured yang sering digunakan untuk menggambarkan kinetika pertumbuhan adalah persamaan Monod. Model ini mengekspresikan bahwa laju pertumbuhan spesifik mikroba akan meningkat jika konsentrasi substrat meningkat. Namun laju pertumbuhan spesifik akan turun pada konsentrasi substrat yang terlalu tinggi. Persamaan Monod menggambarkan laju pertumbuhan spesifik merupakan fungsi dari konsentrasi substrat pembatas (S):

$$\mu = \mu_m \left[\frac{S}{K_s + S} \right] \quad (2-11)$$

Model Monod ditunjukkan oleh **Gambar II.17**. K_s adalah tetapan kejenuhan, yaitu konsentrasi substrat pada $\mu = \frac{1}{2} \mu_m$. Nilai K_s bergantung pada jenis mikroba dan jenis substrat yang digunakan. Untuk substrat gula, nilai K_s berkisar 1-100

mg/l. Sedangkan untuk substrat nitrogen nilai K_s lebih rendah dari substrat gula. Secara umum, bila $S > 3K_s$, maka $\mu = \mu_m$ (Mangunwidjaja, 1994). Modifikasi persamaan (2.11) menghasilkan bentuk berikut :

$$\frac{1}{\mu} = \frac{K_s}{\mu_m} \frac{1}{S} + \frac{1}{\mu_m} \quad (2-12)$$



Gambar II.17 Model Monod pertumbuhan mikroba (Mangunwidjaja, 1994)

Persamaan kinetika pertumbuhan mikroba yang menggabungkan persamaan (2.9) dan (2.11). Persamaan tersebut memiliki bentuk sebagai berikut

$$\frac{dX}{dt} = \mu_m \left[\frac{S}{K_s + S} \right] X \quad (2-13)$$

Persamaan serupa diusulkan dengan memasukkan komponen laju kematian mikroba spesifik, mengikuti bentuk berikut (Busairi, 2002) :

$$\frac{dX}{dt} = \mu_m \left[\frac{S}{K_s + S} \right] X - k_d X \quad (2-14)$$

Kinetika pertumbuhan mikroba pada fermentasi asam laktat oleh *L. amylophilus* yang menggunakan model logistik mengekspresikan hubungan antara kecepatan pertumbuhan dengan dua parameter kinetik seperti kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum (μ_m) dan konsentrasi bio massa maksimum (X_m). Kedua parameter tersebut dapat diestimasi melalui regresi non-linier dengan metoda least square (Busairi, 2002). Bentuk persamaan model tersebut adalah :

$$\frac{dX}{dt} = \mu_m X \left(1 - \frac{X}{X_{max}} \right) \quad (2-15)$$

Integrasi persamaan di atas menghasilkan persamaan berikut :

$$X_t = \frac{X_0 X_m \exp(\mu_{max} t)}{X_m - X_0 + X_0 \exp(\mu_{max} t)} \quad (2-16)$$

Model logistik kinetika pertumbuhan untuk fermentasi asam laktat dari bahan baku kayu, ditemukan sangat sesuai dengan data percobaan. Parameter kinetika X_m dan μ_m yang diperoleh yaitu 2,95 g/l dan 0,737 jam⁻¹ atau 2,06 g/l dan 0,29 jam⁻¹, dengan substrat dan strain yang digunakan berbeda (Busairi, 2002).

Fase perlambatan pertumbuhan terjadi setelah fase eksponensial. Pada fase ini perlambatan pertumbuhan terjadi karena berkurangnya konsentrasi satu atau lebih nutrisi esensial dan terakumulasinya produk yang bersifat toksik terhadap pertumbuhan. Perubahan lingkungan yang cepat menyebabkan terjadinya imbalance growth. Pada fase eksponensial sistem pengendali proses metabolisme seluler ditunjukkan menghasilkan laju reproduksi yang maksimum, namun pada fase perlambatan pertumbuhan tekanan yang diakibatkan oleh terbatasnya nutrisi dan lingkungan yang toksik akan merubah sistem pengendali proses metabolisme seluler agar bisa tetap bertahan pada kondisi yang tidak menguntungkan (Shuler and Kargi, 1992).

Setelah fase perlambatan pertumbuhan selesai dimulailah fase stasioner. Pada fase ini laju pertumbuhan adalah nol (tidak ada pembelahan sel) atau laju pertumbuhan sama dengan laju kematian. Konsentrasi massa tetap, namun jumlah sel yang hidup akan berkurang, terjadi lisis sel dan sebagian sel dapat tumbuh pada produk hasil lisis sel tersebut. Walaupun laju pertumbuhan adalah nol selama fase stasioner tetapi metabolisme sel masih aktif dan menghasilkan metabolit sekunder, sebagai hasil dari perubahan pengendalian selular karena terbatasnya konsentrasi nutrisi esensial. Produksi metabolit sekunder (antibiotik, hormon) justru meningkat pada fase stasioner. Selama fase stasioner, sel mengkatabolisme nutrisi yang tersimpan dalam sel (endogenous metabolism) sehingga diperoleh energi (maintenance energy) untuk pemeliharaan membran sel, transportasi nutrisi, gerak dan perbaikan struktur sel yang rusak. Pertumbuhan mikroba akan berhenti selain disebabkan oleh terbatasnya konsentrasi nutrisi esensial dan terakumulasinya produk yang bersifat toksik juga disebabkan oleh terbentuknya produk yang menghambat pertumbuhan. Penghambatan ini tergantung pada jenis dan konsentrasi produk penghambatnya. Produksi etanol oleh ragi merupakan contoh produk penghambat pertumbuhan. Hal tersebut dapat dicegah dengan cara mengencerkan medium yang tercemar toksik, menambahkan komponen kimia yang membentuk kompleks dengan produk penghambat dan tidak termetabolisme, dan memindahkan secara berkesinambungan produk penghambat dari dalam reaktor (Shuler and Kargi, 1992).

Fase kematian kemudian akan terjadi setelah fase stasioner. Namun kematian sel sebenarnya telah terjadi selama fase stasioner sehingga batas yang jelas untuk kedua fase tersebut tidak ada (Shuler and Kargi, 1992).

Fase kematian kemudian akan terjadi setelah fase stasioner. Namun kematian sel sebenarnya telah terjadi selama fase stasioner sehingga batas yang jelas untuk kedua fase tersebut tidak ada (Shuler and Kargi, 1992). Parameter kinetika lain dapat

dirumuskan untuk menjelaskan lebih lanjut tentang kinetika pertumbuhan mikroba yaitu koefisien perolehan/yield. Koefisien yield pertumbuhan dirumuskan sebagai jumlah sel kering yang dihasilkan per jumlah substrat yang dikonsumsi ($Y_{X/S}$).

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} \quad (2-17)$$

II.12 Kinetika penggunaan substrat

Parameter yield biomassa terhadap substrat ($Y_{X/S}$), yield produk terhadap substrat ($Y_{P/S}$) dan koefisien pemeliharaan (m) diestimasi dengan analisa nonlinier. $Y_{P/S}$ juga dapat didefinisikan sebagai jumlah produk yang dihasilkan perjumlah substrat yang dikonsumsi.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (2-18)$$

Persamaan yang lebih sederhana diusulkan dengan mengasumsikan bahwa koefisien untuk pemeliharaan sangat kecil dibandingkan dengan laju pertumbuhan spesifik, sehingga bisa diabaikan. Substrat digunakan untuk pembentukan biomassa dan produk saja. Persamaan itu mengikuti bentuk berikut :

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y_{x/s}} \frac{dX}{dt} + \frac{1}{Y_{p/s}} \frac{dP}{dt} \quad (2-19)$$

Persamaan kinetika penggunaan substrat yang paling sederhana diusulkan dengan mengasumsikan bahwa substrat yang dikonsumsi hanya digunakan untuk pembentukan biomassa saja. Persamaan tersebut mengikuti bentuk:

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y_{x/s}} \mu_{mx} \left[\frac{S}{K_s + S} \right] X \quad (2-20)$$

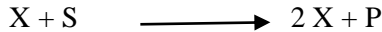
Parameter kinetika $Y_{X/S}$ dan K_s dapat diestimasi dengan analisa regresi linier.

Kinetika penggunaan substrat pada fermentasi asam laktat dituangkan pula dalam bentuk persamaan berikut :

$$-\frac{dS}{dt} = k_3 S \quad (2-21)$$

Konstanta kecepatan reaksi persamaan orde satu k_3 dapat diestimasi dengan analisa regresi linier.

Kinetika penggunaan substrat untuk fermentasi asam laktat oleh *L. delbrueckii*, proses fermentasi dapat dipandang sebagai reaksi biologis irreversible yang mengikuti reaksi berikut :



Model kinetika penggunaan substrat digambarkan melalui persamaan berikut :

$$-\frac{dS}{dt} = k_s SX \quad (2-22)$$

Dimana k_s adalah konstanta penggunaan substrat (Sundstorm dan Klei, 1979).

II.13 Neraca Massa Sel

$$\left[\begin{array}{c} \text{Laju akumulasi massa} \\ \text{sel pada sistem} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Laju pembentukan} \\ \text{biomassa} \end{array} \right]$$

Yang berarti;

$$\left[\frac{dX'}{dt} \right] V = \frac{dX'}{dt} V \quad (2-23)$$

Dimana, $\left[\frac{dX'}{dt} \right]$ adalah laju dari akumulasi biomassa sehingga;

$$X = X_0 e^{\mu t} \quad (2-24)$$

dimana, X_0 adalah konsentrasi biomassa awal pada waktu $t = 0$ yaitu, konsentrasi biomassa di bahan bibitnya (Mg / L) dan X adalah konsentrasi biomassa di reaktor pada waktu t dari awal (Sundstorm dan Klei, 1979)

II.15 Konstanta kinetika dari reaktor batch

Kinetika mengandung konstanta yang harus dievaluasi dengan cara yang tepat, untuk data eksperimen dari reaktor. Persamaan diferensial yang terintegrasi diterapkan untuk waktu nol, selain itu rasio makanan untuk mikroorganisme relative tinggi pada waktu ke nol. Jika konsentrasi awal substrat rendah ($S \ll K_m$) dan konsentrasi padatan biologis diasumsikan konstan, maka menjadi;

$$\ln \frac{S^0}{S} = \frac{k_0}{K_m Y} X^0 t \quad (2-25)$$

Dimana S_0 dan X^0 adalah konsentrasi awal substrat dan biomassa, masing-masing, jika di plot $\ln S_0 / S$ terhadap waktu maka harus menghasilkan garis lurus dengan slope $K_0 X^0 / (K_m Y)$

Nilai Y dapat dihitung dari data batch yang memiliki nilai $S^0 \gg K_m$ Sehingga;

$$\frac{dS}{dt} = \frac{k_0 X}{Y} \quad (2-26)$$

$$\frac{dX}{dt} = k_0 X \quad (2-27)$$

Pers. (2-25) disubstitusikan dengan hasil ke pers (2-27) dan mengintegrasikan, didapatkan;

$$\frac{S^0 - S}{X^0} = \frac{1}{Y} [e^{k_0 t} - 1] \quad (2-28)$$

Dimana:

S_0 = Subtrat pada hari ke-0 (g/l)

S = Subtrat pada hari ke- t (g/l)

X_0 = Biomassa pada hari ke-0 (gMLVSS)

Serangkaian nilai untuk k_0 diasumsikan $(S^0 - S) / X$ diplot terhadap $[e^{k_0 t} - 1]$ untuk setiap diasumsikan k_0 . Jika konsentrasi substrat moderat ($S^0 \cong K_m$), maka ;

$$-\int_{S^0}^S \frac{dS(K_m + S)}{S} = \int_0^S \frac{k_0}{Y} X dt$$

(2-29)

II.16 *Batch Process*

Menurut Iman (2008), *Batch Process* merupakan fermentasi dengan cara memasukkan media dan inokulum secara bersamaan ke dalam bioreaktor dan pengambilan produk dilakukan pada akhir fermentasi. Pada *system batch*, bahan media dan inokulum dalam waktu yang hampir bersamaan dimasukkan ke dalam bioreaktor , dan pada saat proses berlangsung akan terjadi perubahan kondisi di dalam bioreaktor (*nutrient* akan berkurang dan produk serta limbah).

II.16.1 Keuntungan *System Batch*

Pada *system fermentasi batch*, pada prinsipnya merupakan sistem tertutup, tidak ada penambahan media baru. Batch fermentation banyak diterapkan dalam dunia industri karena kemudahan dalam proses sterilisasi dan pengontrolan alat (Gunawan, 2010).

II.17 Metode Untuk Meningkatkan Produksi Biogas

Metode tersebut adalah penggunaan beberapa aditif yang dipakai dalam menaikkan produksi gas seperti :

1. Green biomass

Additive biologis seperti tanaman yang berbeda-beda, limbah jagung, kultur mikroba dan lain-lain. Bubuk daun dari beberapa tanaman dan legume (seperti gulmohar, *Leucacena leucocephala*, *Acacia auriculiformis*, *Dalbergia sisoo* dan *Eucalyptus tereticornis*) sudah ditemukan bisa menstimulasi produksi gas antara 18 % dan 40 % (SBOBD, China, 1979; Chowdhry dkk., 1994). Additive tanaman juga bisa memperbaiki kondisi terbaik untuk kecepatan produksi gas didalam reactor seperti pH, inhibition/promotion proses acetogenesis dan methanogenesis untuk yield yang terbaik (Yadvika dkk., 2004). Penggunaan Alkali (1 % NaOH untuk 7 hari) pada sisa tanaman (lantana, wheat straw, apple leaf litter dan peach leaf litter) ketika digunakan sebagai supplement pada kotoran sapi menghasilkan 2 kali lipat kenaikan biogas dan CH₄ (Dar dan Tandon, 1987). Penambahan *Ageratum* yang sudah dihancurkan menghasilkan 43 % dan penambahan *Euphorbia tirucalli* L. menghasilkan 14 % gas lebih banyak dibandingkan dengan kotoran sapi murni (Kalia dan Kanwar, 1989; Rajasekaran, 1989; Trujillo dkk., 1993).

2. Microbial Strains

Selain penggunaan green biomass, bahan *additive* yang penting adalah penggunaan *strain* beberapa bakteri dan jamur untuk meningkatkan produksi gas dengan menstimulasi aktivitas enzim tertentu. *Strain* bakteri selulosa seperti *actinomyces* dan campuran konsorsium bakteri telah ditemukan bisa memperbaiki produksi biogas pada *range* 8.4 sampai dengan 44 % pada biogas kotoran sapi (Tirumale dan Nand, 1994; Attar dkk., 1998). Semua *strain* menunjukkan batas aktivitas semua enzim yang mempengaruhi degradasi selulosa, viz. C1 enzim, enzim *exglucanase*, *endoglucanase*, *beta glucosidase*. Aktivitas enzim *endoglucanase* menjadi hal paling penting untuk hydrolysis selulosa (Yadvika et al, 2004).

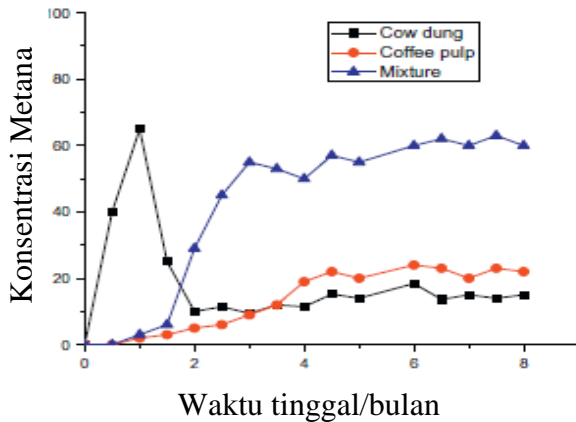
II.18 Fermentasi Anaerobik

fermentasi anaerobik adalah proses yang memanfaatkan kelompok mikroorganisme anaerob untuk stabilisasi limbah dan perkembangan biogas. Efisiensi pada stabilisasi limbah dalam proses fermentasi diukur dengan *Chemical Oxygen Demand* (COD) atau pengurangan *Volatile Solid* (VS). Di antara parameter operasi lainnya seperti temperatur, *loading rate*, pH, dll efisiensi ini tergantung pada laju di mana mikroorganisme yang dihasilkan di sistem yang tergantung pada tingkat penggunaan substrat. Sejumlah model telah dikembangkan untuk meneliti kinerja reaktor anaerob dalam hal tingkat pertumbuhan biomassa, pemanfaatan substrat, pengurangan padatan organik dan juga stabilisasi limbah, serta produksi biogas (Andrews, 1971).

II.19 Hasil Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian sebelumnya yang mendasari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. G. Corro dkk. (2013) memproduksi metana menggunakan biomassa dari pulp kopi yang dicampur dengan kotoran sapi. kecepatan konversi metana pada substrat campuran pulp kopi dengan kotoran sapi sangat rendah, dalam 1,5 bulan pertama masih dibawah 10 % dan 2 bulan *digestion time* masih sekitar 30 %.. Walaupun pada konsentrasi metana campuran menghasilkan yield yang besar dari pada substrat lainnya namun SRT nya sangat lama, seperti yang digambarkan pada **Gambar II.18.** dibawah ini.



Gambar II.18 Evolusi CH₄ (% V) didalam yield biogas dari kotoran ternak dan limbah pulp kopi

2. untuk memperbaiki efisiensi produksi metana dari biomassa, dengan menggunakan cairan rumen sebagai pretreatment dan mengurangi beban plant pemrosesan limbah rumah pemotongan hewan, dari penelitian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut; kecepatan degradasi biomassa NDF (dihitung dengan *neutral detergent fiber*) meningkat setelah produksi metana, dari 63.9 % pada *control*, menjadi 74.8 % pada (sample 6 jam) dan 75.3 % pada (sample 24 jam). Kemudian kecepatan degradasi selulosa naik dari 76.5 % menjadi 87.9 % pada sample 6 jam, dan dari 76.5 % menjadi 85.8 % pada sampel 24 jam. Dan kecepatan degradasi hemiselulosa juga meningkat, dari 40.6 % menjadi 55.2 % pada sample 6 jam, dan dari 40.6 % menjadi 57.5 % pada sample 24 jam dan untuk lignin hanya 10.7 % yang terdegradasi pada *control*, dimana 39.4 % pada sample 6 jam, dan 51.8 % pada sampel 24 jam. Yield methane yang dihasilkan pada *control* 68.2 ml,

pada sample 6 jam, 177,7 ml, dan pada sample 24 jam adalah 142 ml., sehingga methane yield yang dihasilkan 60.8 % pada control, 73.4 % pada sample 6 jam, dan pada 64.2 % pada sample 24 jam.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Biokimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Surabaya pada bulan Agustus sampai dengan Desember 2016 .

III.2. Bahan dan Alat

III.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jerami padi, kulit kopi, kotoran luwak, cairan rumen, kotoran sapi, aquades, CH_3COONa , NH_4Cl , KH_2PO_4 , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, yeast extract, kertas saring Whattmann, kain saring, kertas tisu, NaOH , H_2SO_4 , indikator pH universal, gas metana (*Ultra High Purity*), gas CO_2 (*Ultra High Purity*) dan gas H_2 (*Ultra High Purity*).

III.2.2 Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Hot plate & stirrer (Snijders)*, *Analitical balance (OHAUS)*, *Incubator shaker (Certomat U)*, tabung reaksi, gelas ukur (pyrex), corong kaca, pipet volumetrik (pyrex), pipet tetes, gelas beker (pyrex), labu ukur (pyrex), erlemeyer (pyrex), *Furnance Linn High Therm VMK 135*, Oven (*VWR Scientific 1350 G*), ayakan ukuran 35 mesh, Spatula, *vacuum pump (Welch vacuum)*, rak kayu, kuvet, rangkaian alat reaktor *batch*, kain saring, corong, sarung tangan, masker, ember, thermometer, cawan keramik, syringe, gas holder, gas chromatography (*GC -2010 Plus-SHIMADZU*).

III.3. Variabel Penelitian dan Kondisi Operasi

III.3.1. Variabel *pretreatment* substrat

Pada *pretreatment* substrat dilakukan *pretreatment* secara biologi dengan menggunakan kotoran luwak dengan substrat kulit kopi dan waktu perendaman selama 3 hari. Tujuan dari *pretreatment* adalah untuk menurunkan kandungan inhibitor (*tannin*, *polyphenol* dan *cafein*).

Tabel III.1 menunjukkan variasi substrat jenis mikroorganisme dan air dalam digester yang dilakukan bertujuan untuk membandingkan hasil biogas yang dihasilkan dari substrat yang tidak mengandung inhibitor yaitu jerami padi dengan substrat yang ada kandungan inhibitor yaitu kulit kopi dengan 2 perlakuan yang berbeda antara tanpa *pretreatment* dan dengan *pretreatment* pada setiap digester.

Tabel III.1 Variabel campuran dalam digester

No.	Substrat	Mikroorganisme	Air	Kode Digester
1.	Jerami padi 9%	Kotoran sapi 15% Kotoran sapi Rumen 15%	76%	JP- KS JP- KS+R
2.	Kulit kopi 9% (tanpa <i>pretreatment</i>)	Kotoran sapi 15% Kotoran sapi Rumen 15%	76%	KK-KS KK-KS+R
3.	Kulit kopi 9% (dengan <i>pretreatment</i>)	Kotoran sapi 15% Kotoran sapi dan Rumen 15%	76%	KK-KS-PT KK-KS+R-PT

III.3.2 Variabel Waktu Sampling

Selama fermentasi anaerobik dilakukan analisa setiap lima hari sekali. Adapun analisa yang dilakukan adalah sebagai berikut :

Tabel III.2 Waktu sampling

No	Hari Ke-	Analisa
1	0	Kadar selulosa, lignoselulosa, dan hemiselulosa awal, <i>lignin</i> , <i>tannin</i> , <i>polyphenol</i> , <i>cafein</i> , pH, C/N rasio, % VS, % TS, COD
2	1	Biogas (CH ₄ , H ₂ , CO ₂), pH, COD, % VS, % TS
3	5	Biogas (CH ₄ , H ₂ , CO ₂), pH, COD, % VS, % TS
4	10	Biogas (CH ₄ , H ₂ , CO ₂), pH, COD, % VS, % TS
5	15	Biogas (CH ₄ , H ₂ , CO ₂), pH, COD, % VS, % TS
6	20	Biogas (CH ₄ , H ₂ , CO ₂), pH, COD, % VS, % TS
5	25	Biogas (CH ₄ , H ₂ , CO ₂), pH, COD, % VS, % TS
6	30	Biogas (CH ₄ , H ₂ , CO ₂), pH, COD, % VS, % TS
7	35	Biogas (CH ₄ , H ₂ , CO ₂), pH, COD, % VS, % TS
8	40	Biogas (CH ₄ , H ₂ , CO ₂), pH, COD, % VS, % TS dan pertumbuhan kinetika

III.3.3 Kondisi Operasi Penelitian

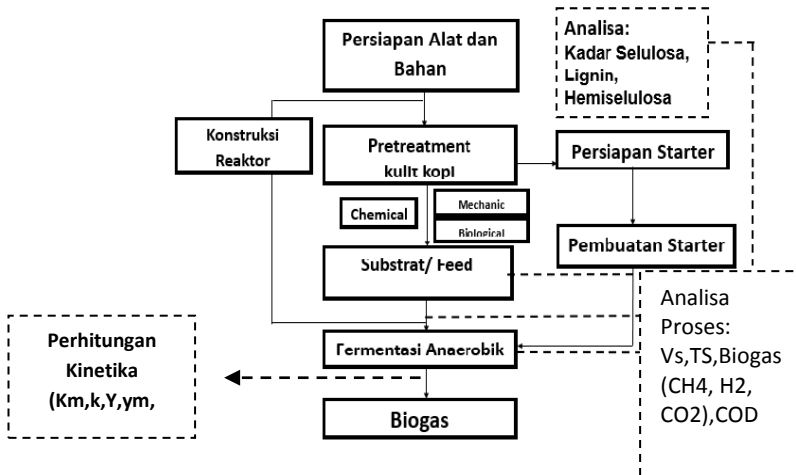
Volume Reaktor	: 20 liter
Volume Kerja	: 12 iter
Suhu Operasi	: 30 – 45 °C
pH	: 6 - 7
P operasi	: 1 atm
Ukuran partikel substrat	: bubuk/ powder (35 mesh)
Lama fermentasi	: 40 hari
System	: Batch
Substrat	: -Kulit kopi -Jerami padi

III.4. Tahapan Metodologi Penelitian

Rangkaian penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Konstruksi reaktor
2. Persiapan substrat jerami padi dan kulit kopi

3. *Pretreatment* kulit kopi (*Biological dan Chemical*)
4. persiapan starter
5. Fermentasi Anaerobik
6. Analisa hasil
7. Perhitungan kinetika

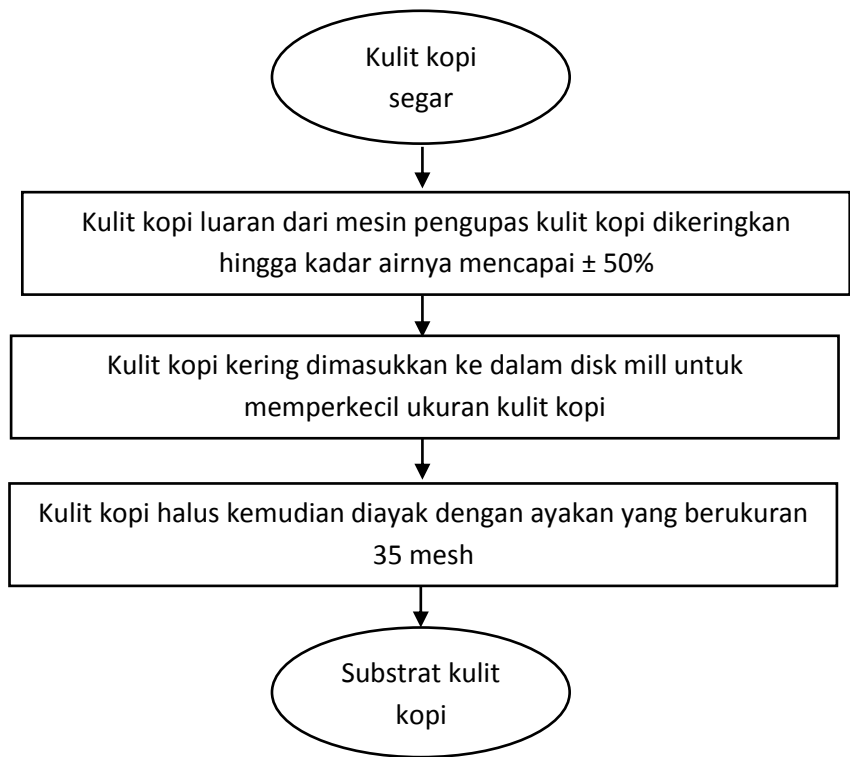


Gambar III.1. Diagram alir penelitian

III.4.1. Persiapan Bahan

III.4.1.1. Kulit Kopi

Kulit kopi didapatkan dari pengolahan kopi rakyat yang berada di Dampit Kabupaten Malang pada tanggal 20 Oktober 2016. Jenis kopi yang diolah adalah jenis kopi Robusta. Pada proses pengolahan biji kopi terdapat beberapa proses, yaitu sortasi biji kopi, pengupasan kulit buah, fermentasi biji kopi, pengeringan biji kopi, pengupasan kulit tanduk dan sortasi akhir. Pada proses pengupasan biji kopi akan menghasilkan limbah kulit kopi. Limbah kulit kopi tersebut akan menjadi substrat dalam penelitian ini dengan berbagai *treatment* seperti berikut :



Gambar III.2. Pembuatan substrat kulit kopi

Substrat kulit kopi yang sudah siap digunakan sebagai substrat dan sebagian di *pretreatment* secara *biological* dengan menggunakan cairan kotoran luwak dan *chemical* dengan menggunakan ethanol serta dianalisa kandungan selulosa, hemiselulosa, lignoselulosanya, dan senyawa inhibitor berupa *polyphenol*, *tannin* dan *cafein*.

III.4.1.2 Kotoran Luwak

Kotoran luwak diambil dari peternakan luwak penghasil kopi luwak di kelurahan Werungotok Kabupaten

Nganjuk. Jenis luwak yang digunakan yaitu Musang pandan (*Paradoxurus hermaphroditus*).

Proses pengambilan dan persiapan kotoran luwak :

1. Sterilisasi Loyang, wadah dan sekop kecil dengan menggunakan alcohol 70%.
2. Loyang sebanyak 4 (empat) buah dipersiapkan dibawah kandang luwak untuk menampung setiap kotoran luwak yang jatuh.
3. Setiap kotoran luwak yang jatuh segera dimasukkan ke tempat penyimpanan (wadah) yang kedap udara. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari kontaminasi bakteri lain apabila tidak dilakukan dengan segera akibat berkontak terlalu lama dengan udara.
4. Kotoran luwak yang telah didapatkan segera dibawa menuju laboratorium teknologi biokimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Pengenceran kotoran luwak dilakukan dengan perbandingan kotoran luwak : aquadest adalah 1 : 25.
6. Larutan kotoran luwak terbentuk disaring dengan menggunakan kain saring untuk menghindari terikutnya padatan kotoran luwak masuk kedalam reaktor.

III.4.1.3 Cairan Rumen

Cairan rumen diambil dari Rumah Potong Hewan (RPH) Jl. Nyamplungan kelurahan Ampel kota Surabaya. Pengambilan cairan rumen dilakukan pada tanggal 27 Oktober 2016 pada pukul 05.00 WIB.

Proses pengambilan dan persiapan cairan rumen :

1. Sterilisasi botol penampung dan corong dengan menggunakan alcohol 70%.
2. Cairan rumen diambil langsung dari dalam kantong rumen untuk mendapatkan rumen yang baru dan segar.

3. Isian rumen yang telah terambil secara cepat dimasukkan kedalam kain saring kemudian diperas untuk menghasilkan cairan rumen.
4. Cara pada nomor 3 (tiga) diulang kembali hingga mendapatkan cairan rumen sebanyak 5 Liter.
5. Cairan rumen yang telah didapatkan segera dibawa menuju laboratorium teknologi biokimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

III.4.1.4 Kotoran Sapi

Kotoran sapi diambil dari rumah potong hewan (RPH) Jl. Nyamplungan kelurahan Ampel kota Surabaya. Pengambilan Kotoran sapi dilakukan pada tanggal 27 Oktober 2016 pukul 05.00.

Proses pengambilan dan persiapan cairan kotoran sapi :

1. Sterilisasi wadah dengan menggunakan alcohol 70%.
2. kotoran sapi diambil dengan cara langsung memasang tempat penyimpanan (wadah) di bagian dubur sapi.
3. Kotoran sapi yang telah didapatkan kemudian dipindahkan ke tempat penyimpanan yang lebih besar yang kedap udara. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari kontaminasi bakteri lain apabila tidak dilakukan dengan segera akibat berkontak terlalu lama dengan udara.
4. Kotoran sapi yang telah didapatkan segera dibawa menuju laboratorium teknologi biokimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Kotoran sapi diencerkan dengan perbandingan kotoran sapi : aquadest sebesar 1 : 3.
6. Larutan kotoran sapi kemudian disaring dengan menggunakan kain saring untuk menghindari terikutnya padatan kotoran sapi masuk kedalam reaktor.

III.4.1.5 Proses Pembuatan Starter

Starter dibuat dengan memasukkan setiap variabel mikroorganisme ke dalam erlenmeyer. Jumlah yang ditambahkan adalah 10% dari volume kerja reaktor. kulit kopi ditambahkan masing-masing ke dalam starter sebanyak 1% dari volume kerja reactor. Selain itu starter diberi nutrisi sebagai berikut, 4 g/l CH_3COONa , 8 g/l NH_4Cl , 0,12 g/l KH_2PO_4 , 0,05 g/l CaCl_2 , 0,01 g/l NiCl_2 , 0,01 g/l MnCl_2 , 0,01 g/l CoCl_2 , 0,2 g/l yeast axtract, 0,05 g/l MgCl_2 (Baba, 2013). Kemudian ditutup rapat dan dimasukkan ke dalam inkubator shaker selama 12 jam, dengan kecepatan 137 rpm dan suhu 37 °C (Baba, 2013).

III.4.1.6 Persiapan Substrat

Persiapan substrat dilakukan tanpa dan dengan *pretreatment*. Persiapan substrat tanpa *pretreatment* hanya dilakukan proses pengecilan dan penyeragaman ukuran substrat. Sedangkan *pretreatment* pada kulit kopi dimaksudkan untuk mengurangi senyawa beracun yang keberadaannya akan menjadi inhibitor dalam proses fermentasi anaerobik. Senyawa beracun tersebut apabila terdapat dalam substrat akan menghambat proses fermentasi dikarenakan pada kondisi tersebut pertumbuhan bakteri akan terhambat dikarenakan harus beradaptasi dengan kondisi yang baru dan beracun (Corro, 2013). Maka dari itu untuk menghilangkan senyawa beracun tersebut perlu dilakukan *pretreatment*. *Pretreatment* yang dilakukan adalah secara kimia menggunakan ethanol dan secara biologi menggunakan feses luwak.

III.4.1.6.1 Persiapan Substrat dengan pretreatment biologis

Biological *pretreatment* dilakukan dengan bantuan mikroorganisme kotoran luwak. Metode *pretreatment* yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Kulit kopi dimasukkan kedalam wadah berukuran 20 liter.
2. Cairan kotoran luwak yang telah dipersiapkan dimasukkan ke dalam wadah tersebut dengan perbandingan yang telah ditampilkan dalam **Tabel III.1**
3. Proses perendaman dilakukan selama 3 hari dan dengan perbandingan 1:12.5 antara kulit kopi dengan cairan kotoran luwak ,pengambilan substrat kulit kopi dimaksudkan untuk mengetahui besarnya penurunan komponen inhibitor dan lignoselulosa yang terdapat dalam kulit kopi dan cairan kotoran luwak untuk mengetahui apakah terdapat kandungan zat inhibitor dan lignoselulosa yang terlarut kedalam cairan kotoran luwak.

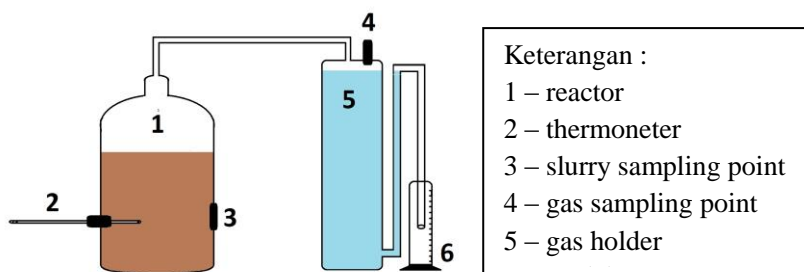
Setelah dilakukan *pretreatment* secara biologi dengan menggunakan kotoran luwak, maka dipilih variabel yang paling optimum dalam mendegradasi komponen inhibitor pada kulit kopi yaitu kotoran luwak sebesar 125 ml dengan waktu perendaman selama 3 hari untuk proses *pretreatment* sebenarnya, sesuai kebutuhan kulit kopi untuk satu digester (8% volume)

III.4.2 Tahap Fermentasi Anaerobik

Fermentasi dengan cairan rumen dilakukan secara batch pada suhu 30-40°C selama 40 hari. Volume digester yang dipakai adalah 6 liter dengan volume kerja 3,6 liter (*Noviyanto, 2015*). Proses anaerobik digestion dilakukan dengan pembuatan starter dan persiapan bahan substrat yang diisi dengan nutrisi bakteri.

Pertama, substrat bahan yang telah dipersiapkan (tanpa dan dengan *pretreatment*) dimasukkan kedalam digester dan kemudian dimasukkan starter mikroorganisme sesuai variabel yang ditentukan. Selanjutnya dimulai proses anaerobik selama 40 hari, untuk menjaga kondisi optimum fermentasi suhu dijaga diantara range suhu mesofilik (30-

40°C) (Yadvika, 2004). pengukuran kadar pH dilakukan setiap hari untuk memastikan pH pada kondisi yang optimum (6,8-7,2) dan apabila terjadi penurunan pH maka akan dilakukan penambahan NaOH 1N. setiap reaktor dilakukan pengadukan sebanyak dua kali sehari (Corro, 2013). kemudian setiap 5 hari sekali dilakukan sampling *Total Solis*, *Volatile Solis*, *Volatile Fatty Acid* dan biogas (CH_4 , CO_2 , dan H_2). Pengambilan data analisa dilakukan secara duplikat.



Gambar III.3 . Skema rangkaian alat penelitian untuk fermentasi anaerobik

III.5 Metode Analisa

III.5.1. Analisa Kandungan Biogas (CH_4 , H_2 dan CO_2)

Analisa Kandungan Biogas (CH_4 , H_2 dan CO_2) dalam sampel dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC). Pengambilan sampel gas dilakukan dengan menggunakan *syringe* yang disuntikkan melalui *gas sampling point* pada *gas holder*. Analisis kadar metana dilakukan dengan gas kromatografi (GC), dengan cara sebagai berikut. Sampel gas sebanyak 0,2 ml diinjeksikan ke dalam *port injector* dengan temperatur injeksi 200°C. Gas nitrogen (N_2) digunakan sebagai gas pembawa dengan kecepatan 15cm/sec. Sampel gas yang dibawa oleh gas N_2 selanjutnya masuk ke dalam kolom. Kolom yang digunakan adalah Rt®-Q-BOND dengan panjang 30 m, *inner diameter* 0,35 mm dan temperaturnya

30°C. Kemudian dideteksi menggunakan detektor TCD dengan temperatur 200°C. Hasil deteksi yang didapat berupa puncak grafik dicatat dengan *recorder* untuk diketahui luas areanya. Setiap sampel dilakukan injeksi secara duplikat.

III.5.2 Analisa *Total Solid (TS)* dan *Volatile Solid (VS)*

Jumlah TS biasanya direperesentasikan dalam % TS dan Jumlah VS biasanya direpresentasikan dalam % VS. bahan baku organik. Volatile solid (VS) merupakan materi organik atau padatan organik yang menguap pada proses pembakaran pada suhu 500°C. Analisa VS ini perlu dilakukan untuk mengetahui banyaknya materi organik yang bisa menguap. Materi organik inilah yang akan dikonversikan menjadi biogas oleh bakteri metana. Analisa TS dan VS dilakukan setiap 5 hari selama 40 hari proses anaerobik digestion dengan mengambil *slurry* di dalam reaktor.

III.5.2.1 Analisa TS

Cawan porselein dipanaskan selama 1 jam pada suhu 550°C pada *furnace*, kemudian dinginkan didalam desikator, setelah dingin cawan kosong ditimbang (W_{dish}). sebanyak 10 ml sampel dimasukkan ke dalam cawan yang telah ditimbang sebelumnya kemudian ditimbang kembali (W_{sample}). Cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam oven kemudian dipanaskan selama 12 jam pada suhu 105°C. Kemudian cawan didinginkan dalam desikator dan ditimbang kembali sampai beratnya tetap (W_{total}).

$$\% \text{ total solids} = \frac{W_{total} - W_{dish}}{W_{sample} - W_{dish}} * 100$$

Keterangan :

W_{dish} = berat cawan

W_{sample} = berat sampel dan cawan

W_{total} = berat sampel kering dan cawan

(EPAMethod1684,201)

III.5.2.2 Analisa abu dan VS

Cawan berisi sampel yang telah ditimbang TS-nya kemudian dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* pada suhu 550°C selama 2 jam. Setelah itu cawan porselein didinginkan hingga mencapai suhu kamar dan ditimbang kembali beratnya.

Ash [mg/l] = $a \times (1000/v)$

- a = perbedaan berat dari cawan penguap setelah dipanaskan pada suhu 550°C dengan berat cawan kosong.
- v = volume sampel.

VS [mg/l] = TS [mg/l] - Ash [mg/l]

(EPA Method 1684, 2001)

III.5.3 Analisa Chemical Oxygen Demands (COD)

COD adalah jumlah oksigen (mg O₂) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organis yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi K₂Cr₂O₇ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*) (G. Alerts dan SS Santika, 1987).

Analisa COD dilakukan dengan mengambil sampel melalui *slurry sampling point* dengan menggunakan *syringe* kemudian ditampung ke dalam *eppendoff* 20 ml. Setelah itu prosedur analisa COD dilakukan dengan mengacu pada *Standard Method 20th Edition - Examination of Water & Waste Water, Methods 5220-D-CLOSED REFLUX COLORIMETRIC METHODS* dengan menggunakan larutan standart KHP (*Potassium Hydrogen Phthalate*) dan pembacaannya dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 620 nm.

Pembuatan Larutan Standard COD 500 ppm (mg/L)

425 mg KHP (Potasium Hydrogen Phthalate) yang sebelumnya sudah dioven dalam suhu 110°C selama 2 jam, dilarutkan dengan air destilasi hingga 1000 ml.

Pembuatan reagen Pereaksi COD

1. Larutan Digestion
10.216 gr $K_2Cr_2O_7$ yang sudah dioven pada suhu $150^{\circ}C$ selama 2 jam, larutkan dalam 500 ml air distilasi, tambahkan H_2SO_4 pekat 167 ml dan 33.3 gr $HgSO_4$ homogenkan dan larutkan sampai 1000 ml
2. Larutan Sulfuric Acid
Larutkan Ag_2SO_4 dengan H_2SO_4 pekat dengan perbandingan 5.5 gr Ag_2SO_4/kg H_2SO_4

Prosedur Analisa COD

1. Campurkan 1.5 ml Larutan digestion dengan 3.5 ml Larutan sulfuric acid, dalam tabung COD, homogenkan (larutan menjadi panas), biarkan mengendap, kemudian tambahkan 2.5 ml air destilasi sebagai blanko, homogenkan, panaskan dengan suhu $148^{\circ}C$ selama 2 jam dengan menggunakan Reaktor COD, biarkan sampai suhu kamar dan ukur dengan spectrophotometer pada panjang gelombang 620 nm.
2. Campurkan 1.5 ml Larutan digestion dengan 3.5 ml Larutan sulfuric acid, dalam tabung COD, homogenkan (larutan menjadi panas), biarkan mengendap, kemudian tambahkan 2.5 ml sampel, homogenkan, panaskan dengan suhu $148^{\circ}C$ selama 2 jam dengan menggunakan Reaktor COD, biarkan sampai suhu kamar dan ukur dengan spectrophotometer pada panjang gelombang 620 nm, bandingkan dengan kurva standard.

III.5.4 Analisa C/N Rasio

C/N rasio adalah perbandingan komposisi karbon dan nitrogen yang terkandung dalam suatu bahan organik. Pada proses fermentasi anaerobic, substrat yang masuk ke dalam reactor harus dijaga pada range 25-30. Menjaga C/N rasio pada range optimum akan menunjang pertumbuhan dan

aktifitas bakteri (Yadvika, 2004). Untuk analisa C/N rasio dilakukan dengan mengacu pada SNI 2801:2010.

Angka C/N rasio yang didapatkan akan dipakai sebagai perhitungan untuk mencapai angka C/N rasio yang optimum untuk proses fermentasi anaerobik yaitu sebesar 30 (Yadvika, 2004). Untuk memperoleh angka C/N rasio optimum tersebut ditambahkan Urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) dari PT. Pupuk Sridjaja dengan komposisi unsur hara N sebesar 46% dengan pengertian setiap 100 kg mengandung 46 Kg Nitrogen, Moisture 0,5%, Kadar Biuret 1%, ukuran 1-3,35 MM serta berbentuk Prill. (Pusri, 2016).

III.5.5 Pengukuran pH

pH merupakan salah satu faktor yang penting bagi pertumbuhan mikroorganisme. Hal ini dikarenakan bakteri tertentu akan aktif pada pH tertentu. pH dapat mempengaruhi aktivitas enzim karena setiap enzim dapat aktif hanya pada pH spesifik dan pH rentang tertentu, serta menunjukkan aktivitas maksimumnya pada pH optimum. Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH universal.

pH optimum pada proses fermentasi anaerobik adalah 6,8 – 7,2 (Yadvika, 2004). Ketidak stabilan pH dikarenakan pada proses fermentasi anaerobik terbentuk CO_2 dan *Volatile fatty acid*. Untuk menjaga pH tetap pada range yang diinginkan dilakukan pengukuran setiap hari dan apabila terjadi penurunan pH hingga dibawah range optimum, maka dilakukan penambahan NaOH 1 N hingga range pH optimum.

III.5.6 Pengukuran Suhu

Temperatur merupakan parameter lingkungan yang penting bagi proses degradasi secara anaerob. Proses degradasi secara anaerob akan menghasilkan panas dari terdekomposisinya senyawa-senyawa organik. Proses anaerob dapat berlangsung pada rentang temperatur mesofilik (30-40 °C) dan rentang termofilik (40–60 °C)(Yadvika, 2004).

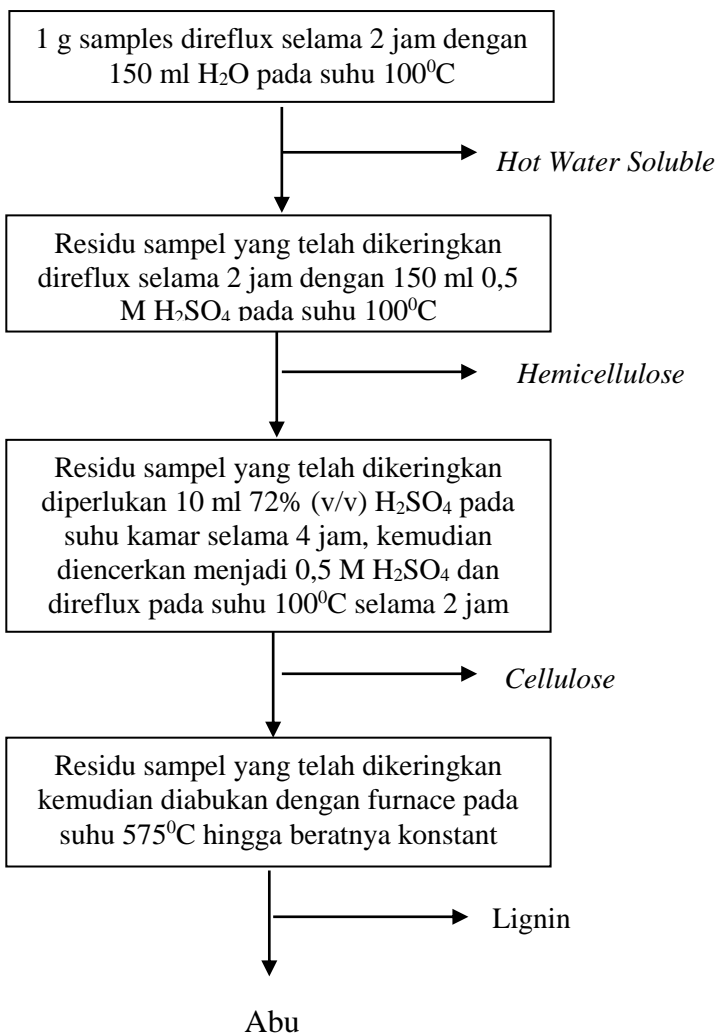
Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan thermometer yang ditanam dalam reactor guna mempermudah dan mengakuratkan pengukuran suhu. Untuk mencapai suhu tersebut digunakan pemanas di area lingkungan reaktor berupa lampu dengan daya 60 watt.

III.5.7 Analisa Kadar Selulosa, Hemiselulosa, dan Lignin dengan Metode Chesson

Metode analisa Chesson merupakan analisis komposisi kimia dari lignoselulosa dilakukan mengikuti referensi dari Datta, tahun 1981. Metode ini adalah analisis gravimetri setiap komponen setelah dihidrolisis atau dilarutkan. Tahapan langkahnya adalah: pertama, mengilangkan kandungan ekstraktif (dalam metode ini disebut *Hot Water Soluble (HWS)*), kemudian hidrolisis hemiselulosa dengan menggunakan asam kuat tanpa pemanasan, dilanjutkan dengan hidrolisis menggunakan asam encer pada suhu tinggi. Bagian terakhir yang tidak larut adalah lignin. Kandungan lignin dikoreksi dengan kandungan abu.

Sampel biomassa lignoselulosa dikeringkan (menggunakan pengering vakum atau kering angin) dan dihaluskan. Metode analisa secara ringkas ditunjukkan pada Gambar 3. Penurunan berat kering (*oven dry weight, ODW*) setiap langkah fraksinasi memberikan fraksi berat komponen lignoselulosa utama: larut dalam air panas (*hot water soluble, HWS*), hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Berat kering ditentukan setelah pengeringan sampel pada suhu 105 ± 3 oC selama 24 jam sesuai dengan metode *TAPPI T264 cm test standar-97 (TAPPI 2002)*.

Gambar III.4. Analisis kandungan komponen lignoselulosa dengan fraksinasi sequensial berdasarkan metode *Chesson-Datta (Datta 1981)*.



Gambar III.4 Analisis kandungan komponen lignoselulosa dengan fraksinasi sequensial berdasarkan metode *Chesson-Datta* (Datta 1981).

Perhitungan kandungan komponen lignoselulosa adalah sebagai berikut:

$$\text{Hot Water Soluble (HWS)(\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

$$\text{Hemiselulosa (\%)} = \frac{b-c}{a} \times 100\%$$

$$\text{Selulosa (\%)} = \frac{c-d}{a} \times 100\%$$

$$\text{Lignin (\%)} = \frac{d-e}{a} \times 100\%$$

$$\text{Abu (\%)} = \frac{e}{a} \times 100\%$$

dimana:

- a = ODW (*oven dry weight*) awal sampel biomassa lignoselulosa
- b = ODW (*oven dry weight*) residu sampel direfluk dengan air panas
- c = ODW (*oven dry weight*) residu sampel setelah direfluk dengan 0,5 M H₂SO₄
- d = ODW (*oven dry weight*) residu sampel setelah diperlakukan dengan 72% H₂SO₄ dan kemudian diencerkan menjadi 4% H₂SO₄
- e = abu dari residu sampel.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Penelitian

Telah dilakukan proses produksi biogas secara anaerobik menggunakan substrat kulit kopi (KK), jerami padi (JP) dan kulit kopi dengan pretreatmen (KK-PT) dengan mikroorganisme kotoran sapi dan campuran antara kotoran sapi dan cairan rumen. Pada penelitian ini dilakukan dua perlakuan terhadap kulit kopi yaitu tanpa *pretreatment* dan dengan *pretreatment* menggunakan kotoran luwak. Penelitian ini dilakukan selama 40 hari dalam enam reaktor *batch* yang masing-masing berisi substrat kulit kopi dengan campuran air dan kotoran sapi (KS) dan campuran cairan rumen dan kotoran sapi (KS+R) yang kemudian akan dibandingkan dengan kulit kopi yang telah di-*pretreatment* dengan penambahan feses luwak (PT). Adapun parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah penentuan kadar selulotik dari kulit kopi, *Total solid* (TS) dan *Volatile Solid* (VS), *Chemical Oxygen Demand* (COD), analisa biogas (CH₄, dan CO₂,) dan perhitungan kinetika. Berikut hasil analisa yang telah dilakukan.

IV.1.1 Kadar Kimia Kulit Kopi Awal

Analisa komponen kulit kopi sebelum pretreatmen dilakukan untuk mengetahui kadar dari limbah kulit kopi, seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, pektin, protein, tanin, kafein, dan polyphenol (total fenol). Adapun hasil analisa komponen kulit kopi awal yang dianalisa di Balai Penelitian dan Konsultasi Industri (BPKI) adalah sebagai berikut :

Tabel IV.1 Hasil Analisa Komponen Kulit Kopi

Komponen Kulit Kopi	Kadar
Selulosa	49,36%
Hemiselulosa	18,6%

Lignin	4.05%
Pektin	4.16%
Tanin	8,18%
Kafein	6,67%
Polypenol (total fenol)	9,04%

Dari hasil analisa komponen kulit kopi dengan metode spektrofotometri didapatkan kadar selulosa sebesar 49,36%, hemiselulosa 18,6%, lignin 4,05%, pektin 4.16%, tanin 8,18%, kafein 6,67%, dan polypenol (total fenol) 9,04%. Hasil analisa ini sedikit berbeda dengan hasil analisa Corro (2013) yang mana komponen kulit kopi terdiri dari selulosa 63%, hemiselulosa 2,3%, lignin 17%, tanin 1,8-8,56%, pektin 6,5%, dan kafein 1,3%. Perbedaan komposisi tersebut menurut Van Dam (2006) dapat disebabkan oleh perbedaan kadar abu dan pengaruh relativitas hasil ekstraksi oleh air panas pada saat analisa. Perbedaan komposisi kimia juga diakibatkan oleh asal, jenis, dan kematangan bahan baku yang dapat mempengaruhi komposisi biomassa (Van Dam, 2006)

IV.1.2 Pretreatment Kulit Kopi

Limbah kulit kopi mengandung beberapa zat kimia beracun seperti tanin, kafein, dan polifenol (total fenol) yang dapat mempersulit degradasi material organik (Corro, 2013). Untuk menghilangkan zat kimia beracun tersebut, dapat dilakukan dengan beberapa *pretreatment*, baik secara kimia, maupun biologis. Pada penelitian ini digunakan pretreatmen biologi menggunakan feses luwak. Hasil dari pretreatmen feses luwak dapat dilihat pada **Tabel IV.2**

Tabel IV.2 Hasil analisa Komponen Inhibitor pada kulit kopi dengan pretreatmen kulit kopi

Kandungan Inhibitor Kulit Kopi	Konsentrasi (%)	
	tanpa <i>Pretreatment</i>	dengan <i>Pretreatment</i>
Polypenol (total fenol)	9,04	4,65
Kafein	6,67	2,24
Tanin	8,18	3,93
Pektin	4,16	2,16

IV.2 Total solid (TS) dan Volatile solid (VS) dalam Reaktor

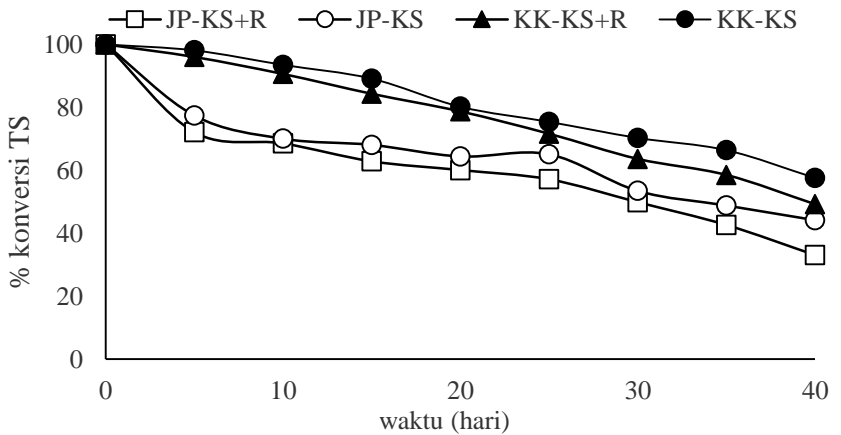
Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % TS bahan baku organik. Volatile solid (VS) merupakan materi organik atau padatan organik yang menguap pada proses pembakaran diatas 500°C. Analisa VS ini perlu dilakukan untuk mengetahui banyaknya materi organik yang bisa menguap. Materi organik inilah yang akan dikonversikan menjadi biogas oleh bakteri metana. Jumlah VS biasanya direpresentasikan dalam % VS. Analisa TS dan VS dilakukan setiap 5 hari selama 40 hari selama proses anaerobik *digestion* dengan mengambil cairan di dalam reaktor. Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel IV.3** adalah hasil analisa TS dan VS untuk setiap digester dengan penambahan mikroorganisme kotoran sapi (KS), dan campuran antara kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R) dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel IV.3 Perubahan TS selama proses anaerobik kulit kopi

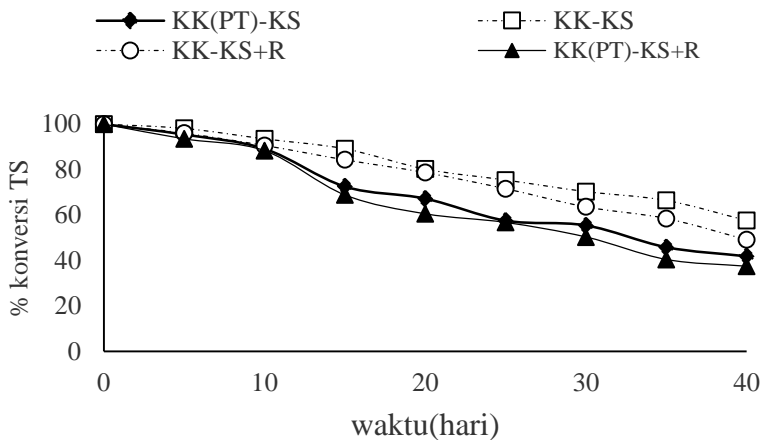
Hari	Substrat					
	Jerami padi		Kulit kopi*		Kulit kopi**	
	KS+R	KS	KS+R	KS	KS+R	KS
0	100	100	100	100	100	100
5	72,1	77,4	96	98,1	93,5	95,4
10	68,54	70,04	90,6	93,5	88,3	89,1
15	62,84	68,09	84,3	89,12	68,8	72,5
20	60,06	64,41	78,7	80,2	60,5	67,2
25	57,12	65,11	71,6	75,4	56,7	57,5
30	49,86	53,48	63,6	70,3	50,3	55,4
35	42,6	48,83	58,5	66,4	40,4	45,8
40	33,04	44,18	49,2	57,6	37,4	41,8

*) Tanpa Pretreatmen

**) Dengan Pretreatmen



Grafik IV.1 Perubahan TS pada digester Jerami padi dan kulit kopi tanpa pretreatmen terhadap lamanya fermentasi anaerobik



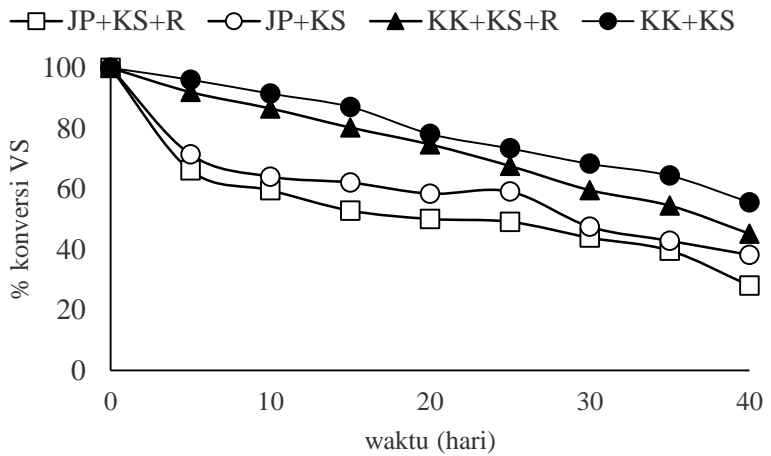
Grafik IV.2 Perubahan TS pada digester kulit kopi dengan pretreatmen dan tanpa pretreatmen terhadap lamanya fermentasi anaerobik

Tabel IV.4 Perubahan VS selama proses anaerobik kulit kopi

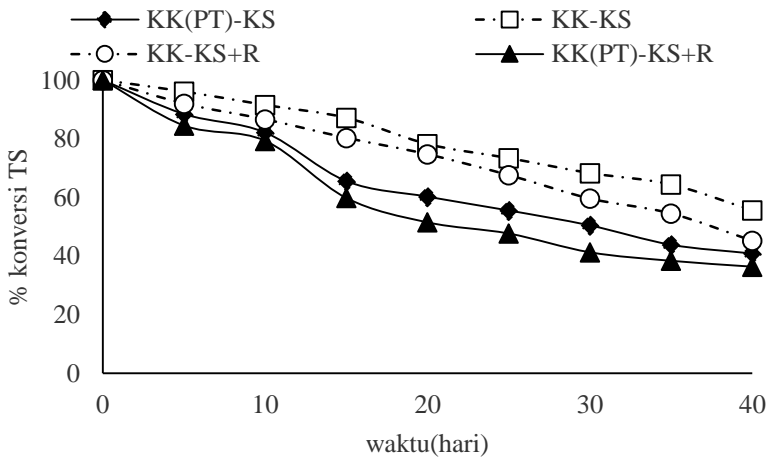
Hari	Substrat					
	Jerami padi		Kulit kopi*		Kulit kopi**	
	KS+R	KS	KS+R	KS	KS+R	KS
0	100	100	100	100	100	100
5	66,1	71,4	92	96,1	84,5	88,4
10	59,54	64,04	86,6	91,5	79,3	82,1
15	52,84	62,09	80,3	87,12	59,8	65,5
20	50,06	58,41	74,7	78,2	51,5	60,2
25	49,12	59,11	67,6	73,4	47,7	55,5
30	43,86	47,48	59,6	68,3	41,3	50,4
35	39,6	42,83	54,5	64,4	38,4	43,8
40	28,04	38,18	45,2	55,6	36,4	40,8

*) Tanpa Pretreatmen

**) Dengan Pretreatmen



Grafik IV.3 Perubahan VS pada digester jerami padi dan kulit kopi tanpa pretreatmen terhadap lamanya fermentasi anaerobik



Grafik IV.4 Perubahan VS pada digester antara kulit kopi dengan pretreatmen dan tanpa pretreatmen terhadap lamanya fermentasi anaerobik

Grafik IV.1 dan IV.2 menunjukkan nilai TS terjadi penurunan pada substrat jerami padi dan kulit kopi tanpa pretreatmen terhadap lamanya fermentasi (hari). Dari penelitian yang telah dilakukan, didapat nilai penurunan TS pada jerami padi dan kulit kopi berturut-turut pada masing-masing variabel adalah KS+R sebesar 66,96% dan 50,8%; KS 55,82% dan 42,4%; sedangkan pada digester KK- KS+R 62,6% dan KS 58,2%.

Grafik IV.3 dan IV.4 menunjukkan nilai VS pada substrat kulit kopi dengan pretreatmen dan tanpa pretreatmen semakin berkurang. Dapat dilihat bahwa pada awal proses fermentasi terjadi penurunan TS dan VS yang cukup signifikan pada awal proses *anaerobic digestion* dikarenakan terjadi proses degradasi senyawa organik menjadi gula/monosakarida, asam amino, alkohol, *fatty acid*, dan senyawa organik lainnya yang lebih sederhana. Dari penelitian yang telah dilakukan, didapat nilai penurunan VS pada jerami padi dan kulit kopi berturut-turut pada masing-masing variabel adalah KS+R sebesar 71,96% dan 54,8%; KS 61,82% dan 41,4%; sedangkan pada digester KK- KS+R 63,6% dan KS 59,2%. Penurunan terbesar TS dan VS terdapat pada substrat jerami padi dengan penambahan mikroorganisme campuran.

Penurunan TS dan VS di awal yang cukup signifikan disebabkan pertumbuhan sel mikroorganisme meningkat dan didukung persediaan nutrient yang cukup sehingga mikroorganisme mampu mendegradasi senyawa organik. Setelah hari ke-20 cenderung mengalami penurunan TS dan VS yang cukup konstan dikarenakan jumlah nutrisi berkurang sedangkan jumlah bakteri tetap, dan pada akhirnya terjadi penurunan jumlah bakteri atau fase kematian bakteri.

Penurunan total solid dan volatile solid berindikasi dengan peningkatan kadar gas metana yang dihasilkan. Volatile solid merupakan substrat (sumber makanan) bagi mikroorganisme non metanogen yang bekerja pada tahap awal produksi biogas, penurunan volatile solid menunjukkan di dalam biodigester terjadi proses degradasi senyawa organik oleh mikroorganisme non

metanogen. Mikroorganisme di dalam biodigester berangsur-angsur mencapai pertumbuhan yang setimbang antara mikroorganisme non metanogen dan metanogen, kondisi ini dapat dilihat dari produksi gas metana yang meningkat (Ni'mah, 2014).

IV.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimiawi merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh oksidator (misal kalium dikhromat) untuk mengoksidasi seluruh material baik organik maupun anorganik yang terdapat dalam air (MetCalf & Eddy, 2003). Nilai COD akan semakin menurun akibat proses oksidasi dan sebagian bahan organik dikonversi menjadi sel-sel baru (Alpha, 1992).

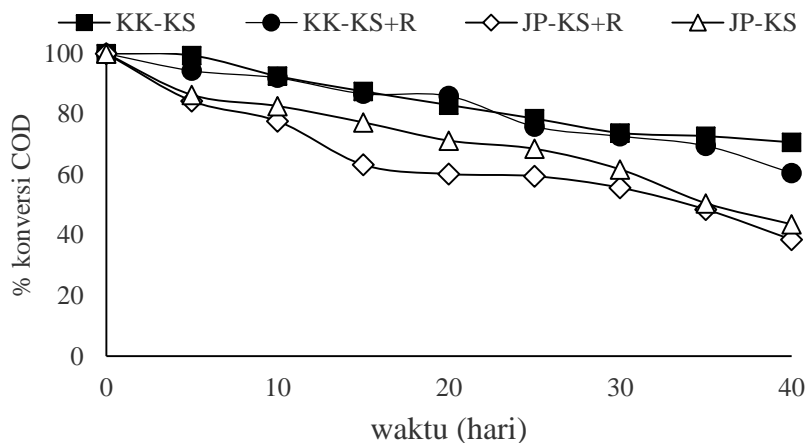
Analisa COD dilakukan setiap 5 hari selama 40 hari. Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel IV.5** adalah hasil analisa COD untuk setiap variable mikroorganisme kotoran sapi (KS), dan campuran antara kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R) adalah sebagai berikut.

Tabel IV.5 Perubahan COD terhadap lamanya fermentasi anaerobik

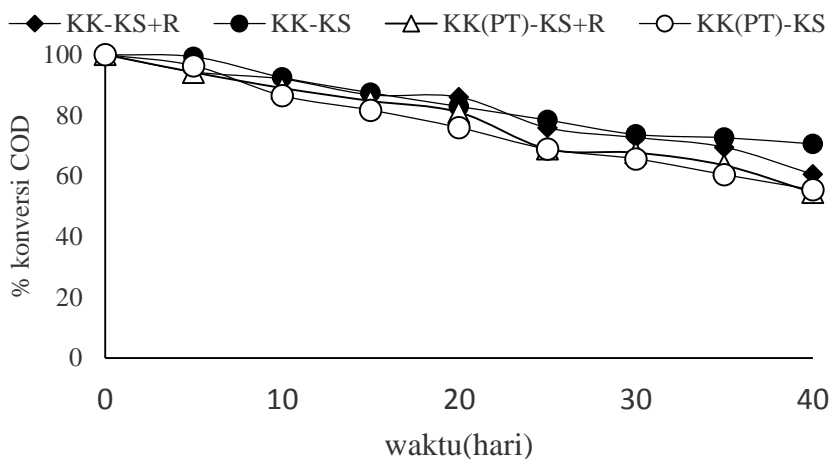
Hari	Substrat					
	Jerami padi		Kulit kopi*		Kulit kopi**	
	KS+R	KS	KS+R	KS	KS+R	KS
0	100	100	100	100	100	100
5	84,34	86,34	94,34	99,34	94,14	96,34
10	77,66	82,66	91,98	92,52	88,98	86,5
15	63,25	77,25	86,73	87,49	84,73	81,73
20	60,2	71,2	85,98	82,95	80,98	75,98
25	59,5	68,5	75,88	78,48	68,88	68,88
30	55,67	61,67	72,67	73,74	67,67	65,67
35	48,48	50,48	69,48	72,67	63,48	60,48

40	38,53	43,53	60,53	70,63	54,53	55,53
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

*) Tanpa Pretreatmen
 **) Dengan Pretreatmen



Grafik IV.5 Pengaruh lama waktu fermentasi terhadap nilai COD removal pada digester Jerami padi dan kulit kopi tanpa pretreatment



Grafik IV.6 Pengaruh lama waktu fermentasi terhadap nilai COD removal pada digester antara Kulit kopi dengan pretreatmen dan tanpa pretreatmen

Dari **Grafik IV.5 dan IV.6** , terjadi penurunan COD pada substrat kulit kopi dan jerami padi pada masing-masing variabel. Adapun penurunan COD untuk masing-masing variabel Jerami padi dan Kulit kopi adalah KS+R sebesar 61,47% dan 49,47%, KS sebesar 56,47% dan 39,37%, sedangkan pada kulit kopi dengan pretreatmen KS + R sebesar 55,47%, KS sebesar 54,47%. Penurunan COD tertinggi pada digester yang berisi jerami padi dengan penambahan mikroorganisme campuran antara kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R). Spesies utama yang terlibat adalah bakteri asam laktat: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactis*; bakteri fotosintetik: *Rhodospseudomonas palustris*, *rhodobacter spaeroides*; Ragi; *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*; *Actinomyces: albus Streptomyces*, *Streptomyces griseus*. Penggunaan KS+R ini didasarkan karena komposisinya mengandung berbagai asam organik karena adanya

bakteri asam laktat (Zhao, dkk 2006 dan Ke B, dkk 2009). Secara teoritis, organisme ini bermanfaat dalam menguraikan bahan organik dengan mengubahnya menjadi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄).

Penggunaan substrat jerami padi dalam pembentukan biogas lebih baik dibandingkan dengan kulit kopi, hal ini dapat dilihat dari jumlah COD yang terkonversi pada variabel jerami padi lebih banyak dan waktu yang diperlukan untuk mendegradasi sangat besar dan lebih singkat dibandingkan dengan penggunaan kulit kopi sebagai substrat sebagai bahan baku produksi biogas. Selain itu, kulit kopi memiliki komposisi zat beracun seperti tanin, poliphenol, dan kafein sehingga mengganggu aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi substrat (Corro, 2013).

Penggunaan mikroorganisme campuran antara cairan rumen dan kotoran sapi paling efektif digunakan dalam produksi biogas dibandingkan mikroorganisme yang lain. Fermentasi cairan rumen dan kotoran sapi selalu dikaitkan dengan pembentukan biogas yang kaya akan metana. Para peneliti telah menemukan bahwa konsentrasi VFA tertinggi diperoleh dari cairan rumen dan kotoran sapi pada fase awal, sedangkan metana dihasilkan pada fase berikutnya (Sonakya et al., 2003; Lopes et al., 2004; Yue and Yu, 2009; hasrul anwar, 2015). Cairan rumen dari sapi mengandung dua quadrillion bakteri dan 1 miliar protozoa. Banyak diantara bakteri tersebut adalah mikroorganisme selulolitik anaerobik, dan mampu menghidrolisis selulosa dengan efisiensi yang tinggi, dengan waktu tinggal *solid/ solid residence time* (SRT) yang sangat pendek (sekitar 23-30 jam) (Chynoweth dkk. 2003; Hungate, 1966 ; Song dkk. 2005).

Menurut Castrillon (2002) umumnya COD removal pada kotoran sapi sebesar (51-79)%. Penurunan COD ini mengidentifikasi bahwa produk biogas terbentuk.

IV.4 Analisa Biogas (CH₄, H₂, dan CO₂)

Untuk menganalisa kandungan gas metana dalam sampel dengan menggunakan Gas Chromatography (GC). Untuk Pengambilan sampel gas dilakukan dengan penyedotan menggunakan syringe yang disuntikkan melalui *gas sampling point* kemudian secepatnya ditampung ke dalam gas holder. Analisis kadar metana dilakukan dengan gas kromatografi (GC) setiap 5 hari sekali selama 40 hari.

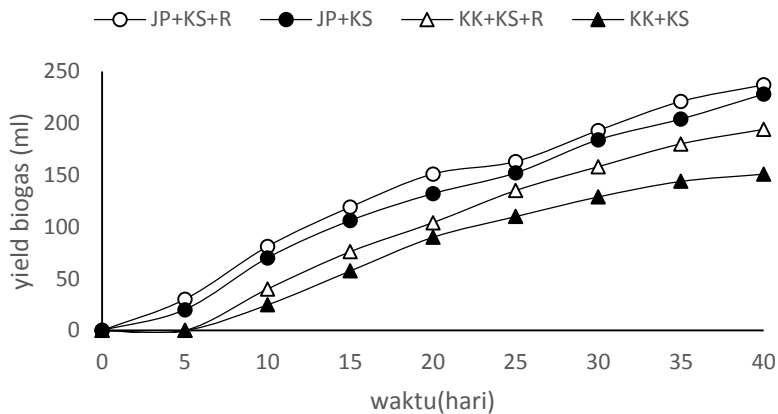
Proses terjadinya reaksi metanogenesis dalam reaktor, dindikasikan dengan terbentuknya biogas. Reaktor anaerobik telah dihubungkan dengan gas holder untuk menampung gas yang terbentuk. Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel IV.6** adalah hasil yield biogas pada tiap digester untuk penambahan variable mikroorganisme kotoran sapi (KS), dan campuran antara kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R) adalah sebagai berikut:

Tabel IV.6 Pembentukan yield biogas terhadap lamanya fermentasi anaerobik (ml)

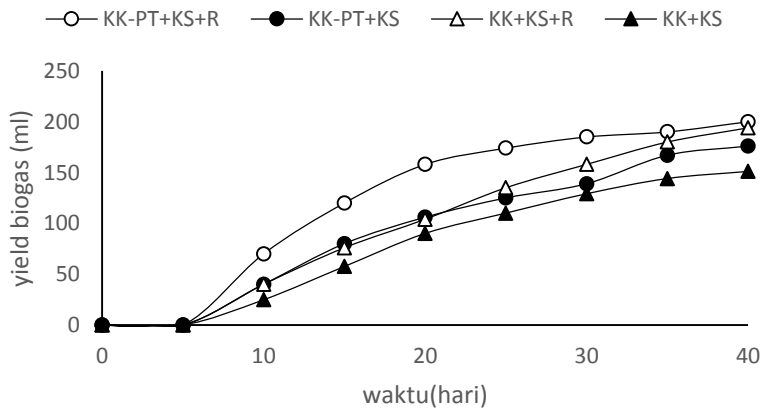
Hari	Substrat					
	Jerami padi		Kulit kopi*		Kulit kopi**	
	KS+R	KS	KS+R	KS	KS+R	KS
5	30	20	0	0	0	0
10	81	70	40	24,8	70	40
15	119	106	76	57,5	120	80
20	151	132	104	90	158	106
25	163	152	135	110	174	125
30	193	184	158	129	185	139
35	221	204	180	144	190	167
40	237	228	194	151	200	176

*) Tanpa Pretreatmen

**) Dengan Pretreatmen

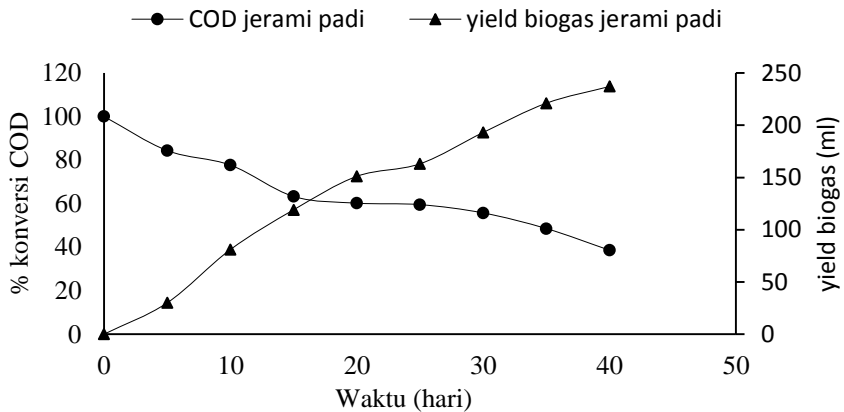


Grafik IV.7 Pengaruh lama waktu fermentasi terhadap nilai yield biogas pada pada digester yang berisi kulit kopi tanpa pretreatmen dan jerami padi.



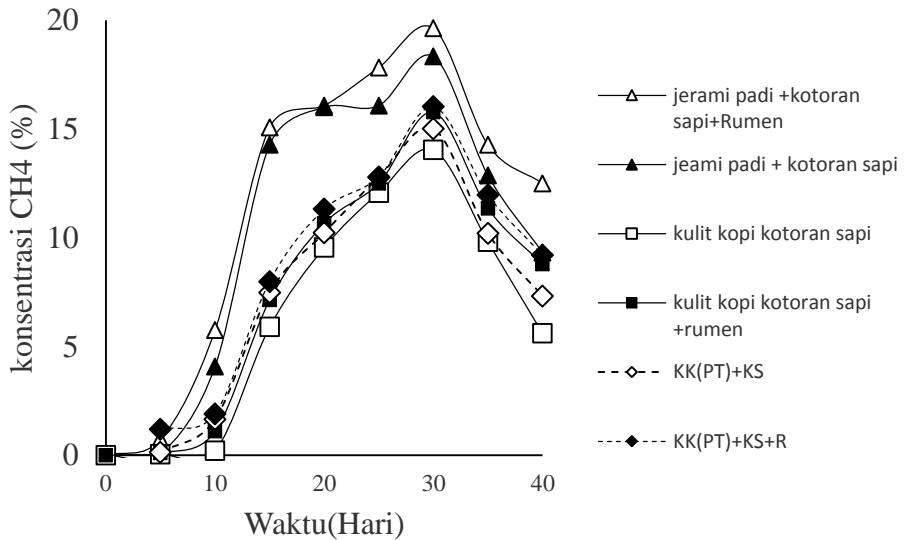
Grafik IV.8 Pengaruh lama waktu fermentasi terhadap nilai yield biogas pada digester yang berisi kulit kopi dengan pretreatmen dan tanpa pretreatmen

Dari **Grafik IV.5 dan IV.6**, terjadi kenaikan pembentukan yield biogas, pada substrat kulit kopi tanpa pretreatmen dan jerami padi pada masing-masing variabel. Adapun pembentukan yield biogas untuk masing-masing variabel Jerami padi dan Kulit kopi tanpa pretreatmen adalah KS+R sebesar 237 ml dan 194 ml, KS sebesar 228 ml dan 151 ml, sedangkan pada kulit kopi dengan adanya pretreatmen KS + R sebesar 200 ml KS sebesar 176 ml. Produksi Yield biogas yang dihasilkan pada tiap digester cenderung mengalami kenaikan sampai hari ke-40. Kenaikan pembentukan yield biogas tertinggi pada substrat jerami padi dengan penambahan mikroorganisme campuran antara kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R). Menurut Momoh (2010) umumnya adanya laju pertumbuhan mikroorganisme sangat besar pada penambahan mikroorganisme dalam hal ini yield biogas terbesar pada penambahan mikroorganisme kotoran sapi dan rumen, karena pada mikroorganisme tersebut mengandung dua quadrillion bakteri dan 1 miliar protozoa. Banyak diantara bakteri tersebut adalah mikroorganisme selulolitik anaerobik, dan mampu menghidrolisis selulosa dengan efisiensi yang tinggi, dengan waktu tinggal *solid/solid residence time* (SRT) yang sangat pendek (sekitar 23-30 jam) (Chynoweth dkk. 2003; Hungate, 1966 ; Song dkk. 2005). dan menurut Andrew (1971) ada tidaknya kandungan inhibitor dalam substrat.



Grafik IV.9 Pengaruh lama waktu fermentasi terhadap nilai COD removal dan pembentukan yield biogas pada jerami padi.

Pada substrat jerami padi dengan penambahan mikroorganisme campuran antara kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R) yang ditunjukkan pada **Grafik IV.9** dapat dilihat bahwa pembentukan yield biogas terus mengalami peningkatan sedangkan untuk nilai COD mengalami penurunan sebesar 38,53% dalam proses fermentasi selama 40 hari,



Grafik IV.10 Pengaruh lama fermentasi terhadap konsentrasi CH₄ yang dihasilkan pada semua digester.

Pada penelitian yang dilakukan terdiri dari enam variabel, dua diantaranya telah dilakukan *pretreatment* dengan penambahan kotoran luwak sebelumnya. Kotoran luwak yang ditambahkan adalah dengan perbandingan 1:12,5 ,dimana 1:12,5 adalah perbandingan antara kulit kopi : kotoran luwak dengan waktu fermentasi selama tiga hari. Dimana kotoran luwak digunakan untuk mencegah kemungkinan gagalnya proses degradasi biologis menggunakan mikroorganisme cairan rumen, mengingat bahwa limbah kulit kopi mengandung beberapa zat kimia beracun seperti kafein, tanin, dan polifenol yang diperkirakan membunuh mikroorganisme kotoran sapi sehingga menyebabkan lambatnya pembentukan gas metana. Pada penelitian sebelumnya (Corro, 2013) yang menggunakan substrat kulit kopi memerlukan waktu yang lama hingga 8 bulan untuk mendapatkan komposisi metana yang konstan sebesar 60%.

Kotoran luwak sendiri dipilih karena memiliki bakteri-bakteri yang memiliki aktifitas enzim yang tinggi antara lain xilanolitik, selulolitik (penghancur sel), dan proteolitik (penghancur protein) yang mampu membantu pencernaan luwak dalam melakukan fermentasi kulit dan biji kopi secara anaerobik di dalam ususnya.

Grafik IV.10 menunjukkan perbandingan gas metana (CH_4) yang dihasilkan pada digester KK-KS+R, JP-KS+R, KK-KS, JP-KS, KK-PT-KS+R dan KK-PT-KS. Dari grafik dapat dilihat bahwa perbandingan pada digester tersebut didapatkan konsentrasi metana yang cukup berbeda. Digester yang berisi substrat jerami padi dengan penambahan mikroorganisme campuran yaitu sebesar 19,6% lebih tinggi daripada digester tanpa *pretreatment* dan dengan *pretreatment* dengan penambahan mikroorganisme campuran yang hanya mencapai berturut-turut sebesar 15,77% dan 16,02%. Hasil kadar metana ini berbeda dengan hasil kadar metana Jefri (2016) pada substrat kulit kopi dengan *pretreatment*, dengan penambahan mikroorganisme campuran sebesar 26,65%. Hal ini disebabkan oleh kandungan kulit kopi yang berbeda, kandungan inhibitor pada kulit kopi yang digunakan lebih besar dibandingkan dengan Jefri (2016) sehingga akan mempengaruhi substrat yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme untuk menghasilkan kadar metana. Dapat dilihat dari grafik bahwa peningkatan produksi biogas hanya terjadi sampai nilai tertentu, setelah itu mengalami penurunan. Hal ini dapat dikarenakan substrat yang telah habis, atau dapat disebabkan oleh faktor lingkungan terutama pH dan suhu (Fransiska, 2014).

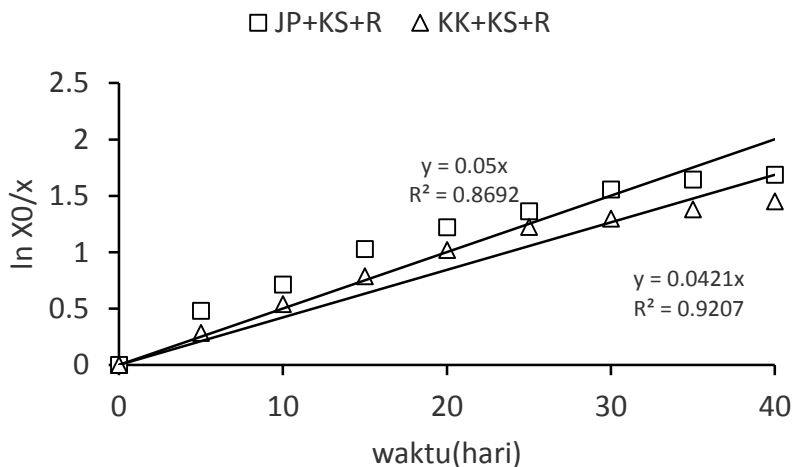
IV.5 Parameter Kinetika Pembentukan Biogas

Studi kinetika diperlukan sebagai dasar untuk memahami setiap proses fermentasi. Kinetika pertumbuhan mikroba menguraikan tentang kecepatan produksi sel (biomassa) dan faktor-faktor yang mempengaruhi terhadap kecepatannya. Pengukuran pertumbuhan dapat diamati dari berbagai

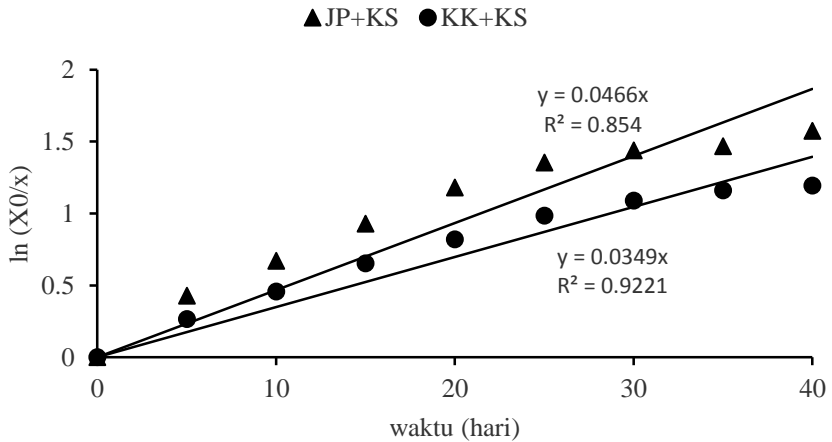
parameter dimana parameter tersebut diperoleh dengan bantuan grafik dan diturunkan dengan persamaan -persamaan matematik.

IV.5.1 Konstanta kinetika laju pertumbuhan spesifik (k)

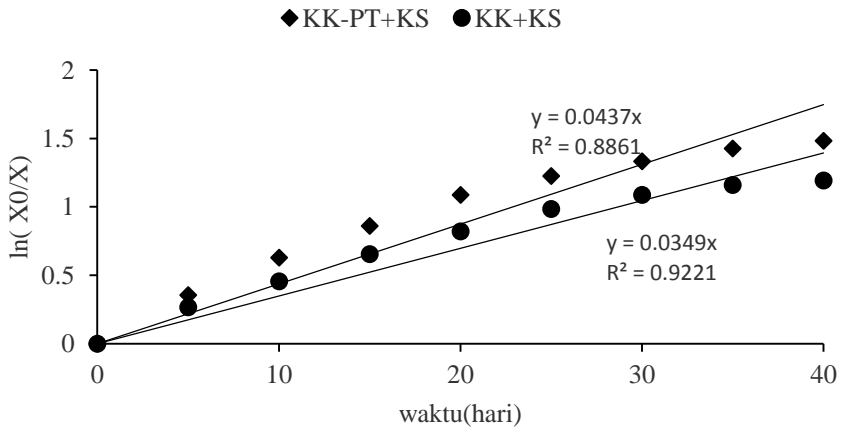
Nilai k yang rendah menunjukkan pertumbuhan mikroorganisme yang lambat, Menurut Pirbazari et al (1996), nilai k merupakan salah satu indikator tingkat biodegradabilitas proses pengolahan fermentasi anaerobik.



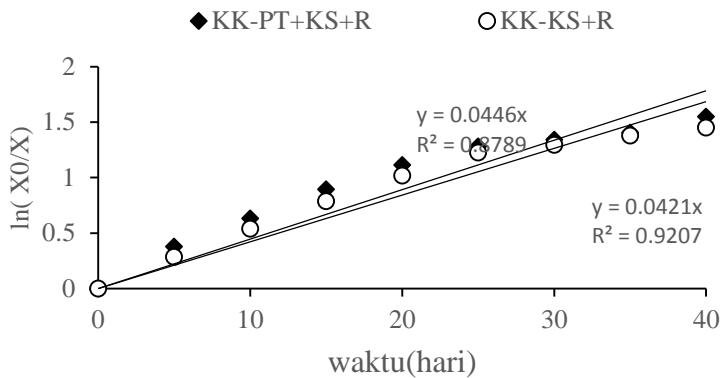
Grafik IV.11 Hubungan antara $\ln X_0/X$ hasil hitung terhadap waktu pada substrat jerami padi dan kulit kopi tanpa pretreatment dengan penambahan kotoran sapi + Cairan rumen (KS+R) dan kotoran sapi (KS).



Grafik IV.12 Hubungan antara $\ln X_0/X$ hasil hitung terhadap waktu pada substrat jerami padi dan kulit kopi tanpa pretreatmen dengan penambahan kotoran sapi.



Grafik IV.13 Hubungan antara $\ln X/X_0$ hasil hitung terhadap waktu pada substrat kulit kopi dengan pretreatmen dan tanpa pretreatmen, dengan penambahan kotoran sapi.



Grafik IV.14 Hubungan antara $\ln X/X_0$ hasil hitung terhadap waktu pada digester Kulit kopi tanpa pretreatmen dengan pretreatmen dengan penambahan kotoran sapi dan cairan rumen.

Nilai koefisien k menunjukkan kecepatan pertumbuhan mikroorganisme. Nilai konstanta kinetika laju pertumbuhan spesifik (k) didapatkan nilai slope dari regresi linier plot hubungan antara $\ln X_0/X$ terhadap waktu (t). Yang ditunjukkan pada **Grafik IV.11-13** pada substrat jerami padi dan kulit kopi dengan berbagai variabel mikroorganisme.

Dari **Grafik IV.11** diperoleh masing-masing slope pada substrat jerami padi dan kulit kopi tanpa pretreatmen dengan penambahan mikroorganisme kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R) berturut turut sebesar 0,05 dan 0,042. Dari **Grafik IV.12** diperoleh masing-masing slope pada substrat jerami padi dan kulit kopi tanpa pretreatmen dengan penambahan mikroorganisme kotoran sapi (KS) berturut-turut sebesar 0,0466; dan 0,0349. Dari **Grafik IV.13** diperoleh masing-masing slope pada kulit kopi dengan pretreatmen maupun tanpa pretreatmen dengan penambahan mikroorganisme kotoran sapi (KS) berturut -turut sebesar 0,0437 dan 0,0349 , sedangkan pada Grafik IV.14 diperoleh

masing-masing slope pada substrat kulit kopi dengan pretreatmen maupun tanpa pretreatmen dengan penambahan mikroorganisme kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R) berturut-turut sebesar 0,0446 dan 0,0421.

Koefisien kineika laju pertumbuhan spesifik (k) untuk jerami padi dengan penambahan kotoran sapi dan cairan rumen yang ditunjukkan pada **Grafik IV.11** lebih besar jika dibandingkan dengan digester yang berisi kulit kopi tanpa pretreatmen maupun tanpa pretreatmen. Hal ini disebabkan tidak ada kandungan inhibitor dalam kandungan jerami padi. Sedangkan pada kulit kopi yang mengandung inhibitor memiliki nilai laju kecepatan pertumbuhan mikroorganisme lebih kecil dari substrat jerami padi, sedangkan Koefisien kinetika laju pertumbuhan spesifik (k) antara digester yang berisi kulit kopi pretreatmen dengan penambahan mikroorganisme kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R) lebih besar dibandingkan dengan digester yang berisi kulit kopi tanpa pretreatmen seperti yang ditunjukkan pada **Grafik IV.14**. Hal ini disebabkan kandungan inhibitor dalam kandungan kulit kopi yang bersifat racun berkurang, kandungan kulit kopi yaitu: polifenol, kafein dan tanin yang dapat mempengaruhi substrat. Pretreatmen dengan menggunakan kotoran luwak pada penelitian ini telah menurunkan konsentrasi zat kimia beracun tersebut sehingga menyebabkan lambatnya kinetika laju pertumbuhan spesifik (k).

Pada **Grafik IV.11 dan IV.12** dengan penambahan mikroorganisme kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R) nilai sloopenya lebih besar dibanding dengan penambahan mikroorganisme kotoran sapi. Hal ini disebabkan karena kandungan mikroorganisme pada kotoran sapi dan cairan rumen lebih banyak dibandingkan dengan kandungan mikroorganisme yang hanya mengandung kotoran sapi.

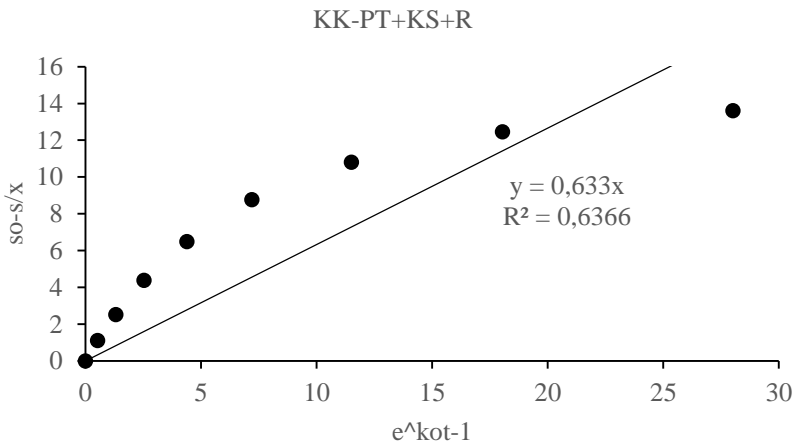
IV.5.2 Koefisien yield pertumbuhan mikroorganisme (Y)

Nilai Koefisien yield pertumbuhan mikroorganisme (Y) menunjukkan banyaknya bahan organik yang dikonversi menjadi

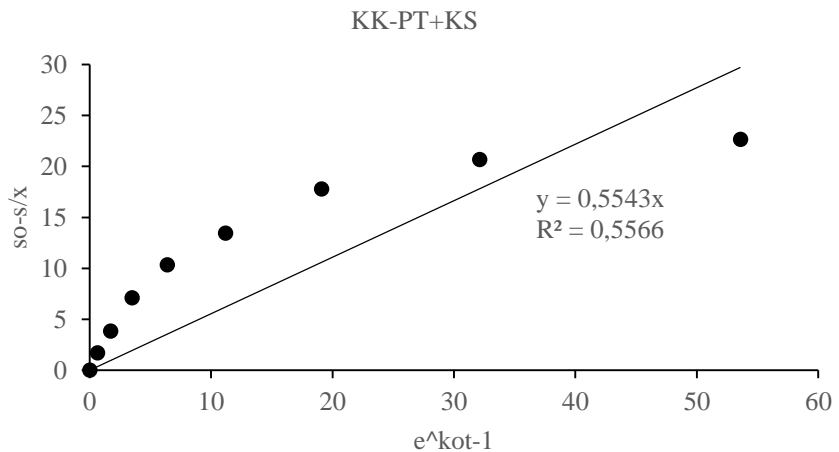
sel-sel baru. Nilai Koefisien yield pertumbuhan mikroorganisme (Y) yang tinggi menunjukkan kandungan bahan organik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme juga tinggi. Nilai Y didapatkan dari persamaan berikut:

$$\frac{S^0 - S}{X^0} = \frac{1}{Y} [e^{kot} - 1]$$

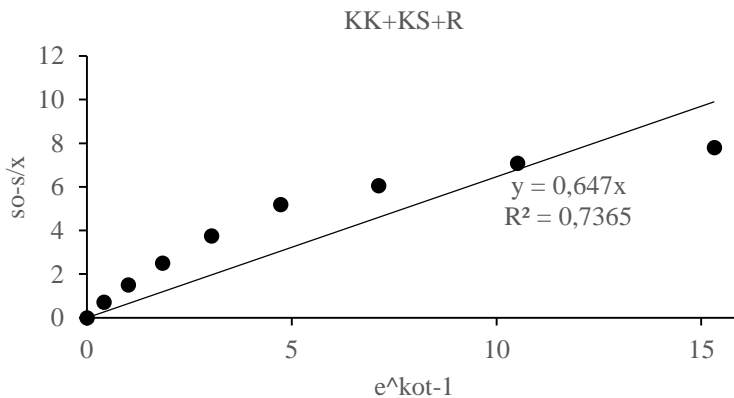
Dari persamaan diatas didapatkan nilai slope dari meregresi linier plot hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kot)-1$, kemudian dari slope tersebut akan dimasukan pada persamaan diatas sehingga didapatkan nilai Koefisien yield pertumbuhan mikroorganisme (Y) yang akan ditunjukkan pada **Grafik IV.15-IV.20**.



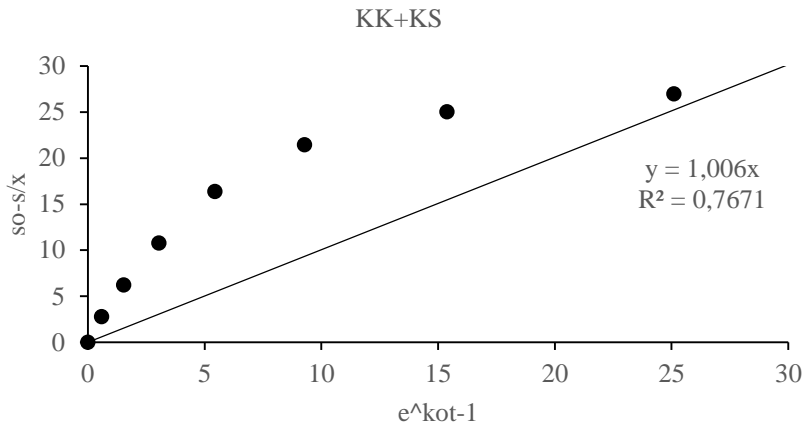
Grafik IV.15. Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada digester kulit kopi pretreatmen dengan penambahan kotoran sapi dan cairan rumen.



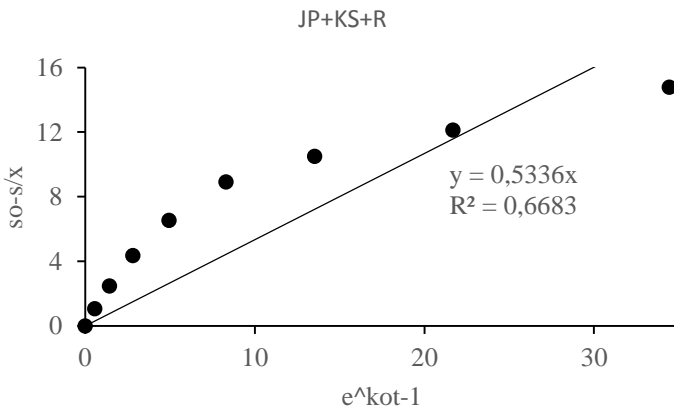
Grafik IV.16 Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada digester kulit kopi pretreatmen dengan penambahan kotoran sapi.



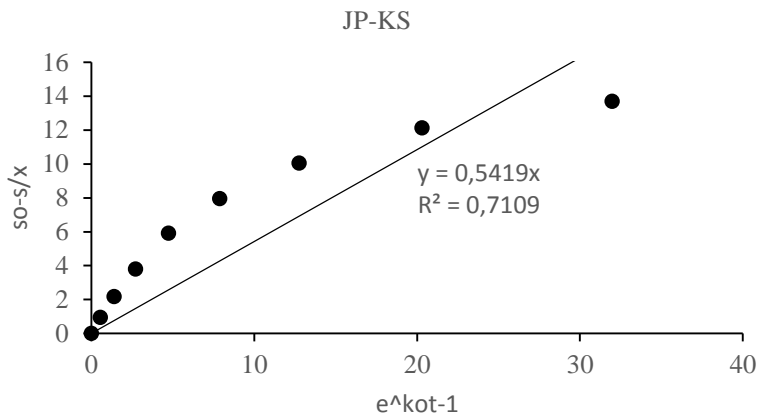
Grafik IV.17 Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada digester kulit kopi tanpa pretreatmen dengan penambahan kotoran sapi dan cairan rumen.



Grafik IV.18 Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada digester kulit kopi dengan penambahan kotoran sapi (KS).



Grafik IV.19 Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada digester jerami padi dengan penambahan Kotoran sapi dan cairan rumen.



Grafik IV.20 Hubungan antara S^0-S/X terhadap $\exp(kt)-1$ pada digester jerami padi dengan penambahan kotoran sapi.

Pada **Grafik IV.15-20** diperoleh slope pada digester KK-PT-KS+R, KK-PT-KS, KK-KS+R, dan KK-KS berturut-turut sebesar 0,6381; 0,5543; 0,647 dan 1,006 dari slope tersebut menghasilkan koefisien yield berturut-turut sebesar 1,804; 1,567; 1,545 dan 0,994. Sedangkan pada **Grafik IV.19 dan 20** menghasilkan slope pada JP-KS+R, dan JP-KS berturut-turut sebesar 0,5336 dan 0,5419 dari slope tersebut menghasilkan koefisien yield berturut-turut sebesar 1,874 dan 1,845. Variasi nilai Y dari variabel disebabkan adanya karakteristik bahan yang terkandung pada substrat dan mikroorganisme yang ditambahkan. Nilai Y tertinggi terdapat pada digester JP-KS+R Hal ini disebabkan tidak ada kandungan yang dapat menghambat mikroorganisme dalam mendegradasi substrat dan jumlah mikroorganisme yang digunakan sudah cukup untuk mendegradasi komponen selulosa hemiselulosa pada kandungan jerami padi.

Di dalam reaktor biogas, terdapat dua jenis bakteri yang sangat berperan, yakni bakteri asidogenik dan bakteri metanogenik. Kedua jenis bakteri ini perlu eksis dalam jumlah yang berimbang. Bakteri-bakteri ini memanfaatkan bahan organik dan memproduksi metan dan gas lainnya dalam siklus hidupnya pada kondisi anaerob. Mereka memerlukan kondisi tertentu dan sensitif terhadap lingkungan mikro dalam reaktor seperti temperatur, keasaman dan jumlah material organik yang akan dicerna. Terdapat beberapa spesies metanogenik dengan berbagai karakteristik. Bakteri ini mempunyai beberapa sifat fisiologi yang umum, tetapi mempunyai morfologi yang beragam seperti *Methanomicrobium*, *Methanosarcina*, *Metanococcus*, dan *Methanothrix* (Haryati, 2006).

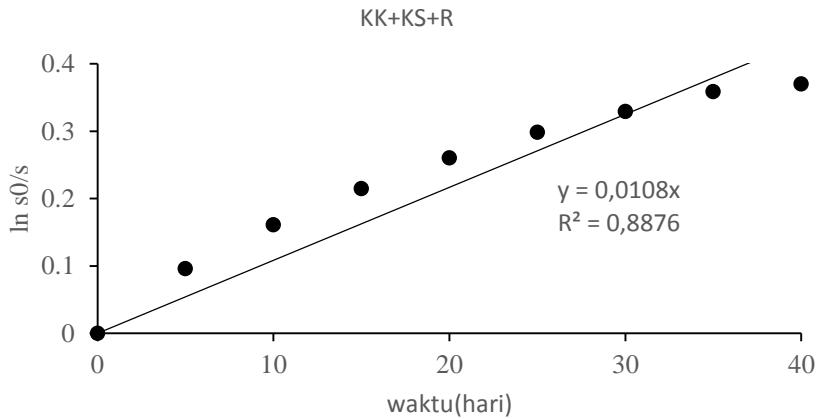
IV.5.3 Koefisien konstanta michaelis-menten (Km)

Koefisien konstanta michaelis-menten (Km) menunjukkan kepekaan konsentrasi substrat yang peka terhadap pertumbuhan biomassa. Apabila nilai Km besar berarti konsentrasi substrat yang terdegradasi sangat besar terhadap pertumbuhan mikroorganisme. Nilai Km yang rendah menunjukkan kecenderungan yang kurang terdegradasi terhadap pertumbuhan biomassa karna faktor-faktor tertentu (grady dan Lim,1980) .

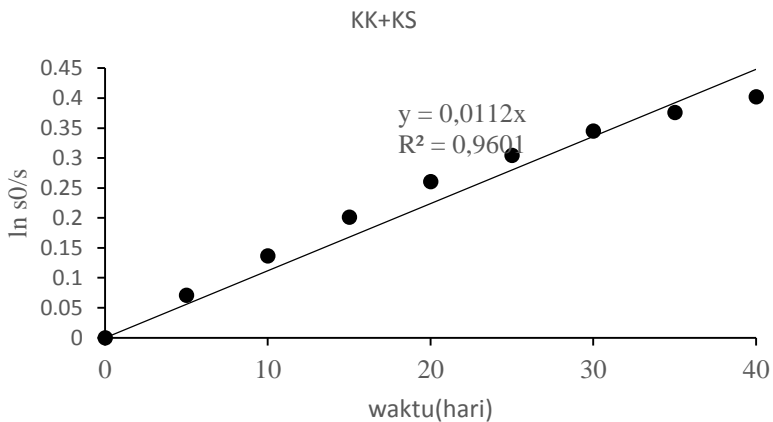
Untuk mendapatkan nilai km dari persamaan berikut:

$$\ln \frac{S^0}{S} = \frac{k_0 X^0}{K_m Y} t$$

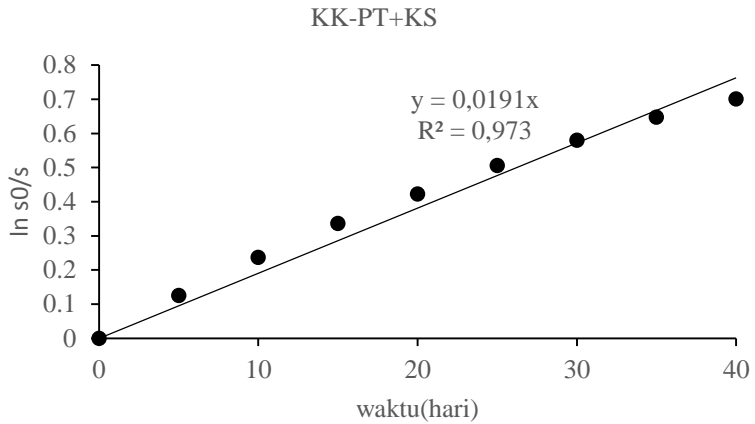
Hasil regresi linier plot hubungan antara $\ln S^0/S$ terhadap waktu akan didapatkan slope, dimana dari slope tersebut dapat dihitung nilai dari Km yang akan ditunjukan pada **Grafik IV.21-26**



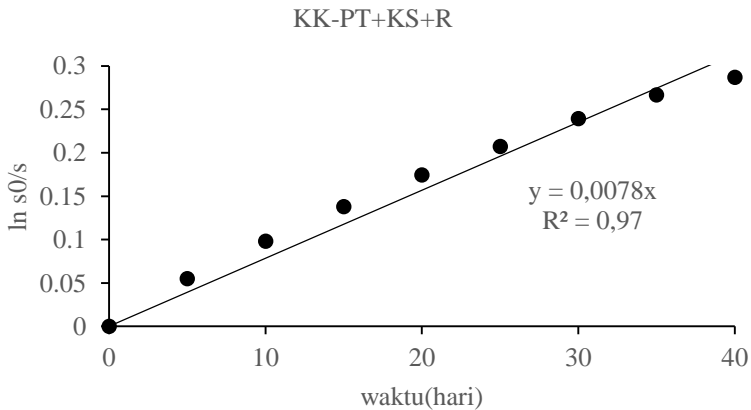
Grafik IV.21 Hubungan antara $\ln S^0/S$ terhadap waktu pada Kulit kopi (KK) Tanpa pretreatmen dengan penambahan Kotoran sapi+ Cairan rumen (KS+R).



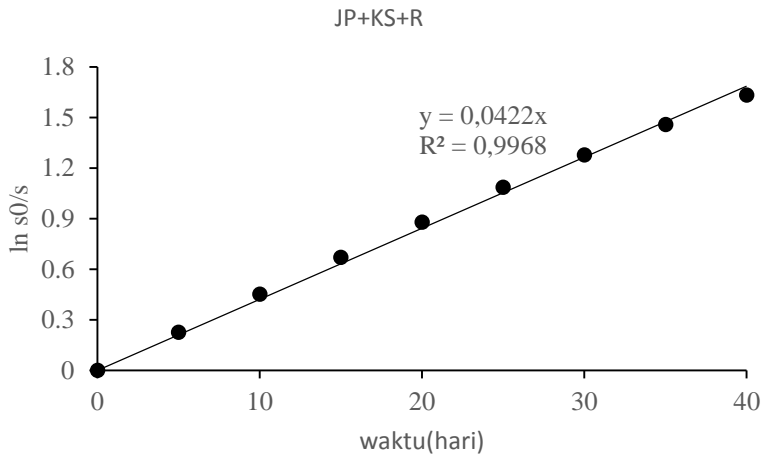
Grafik IV.22 Hubungan antara $\ln S^0/S$ terhadap waktu pada substrat Kulit kopi (KK) dengan penambahan Kotoran sapi (KS).



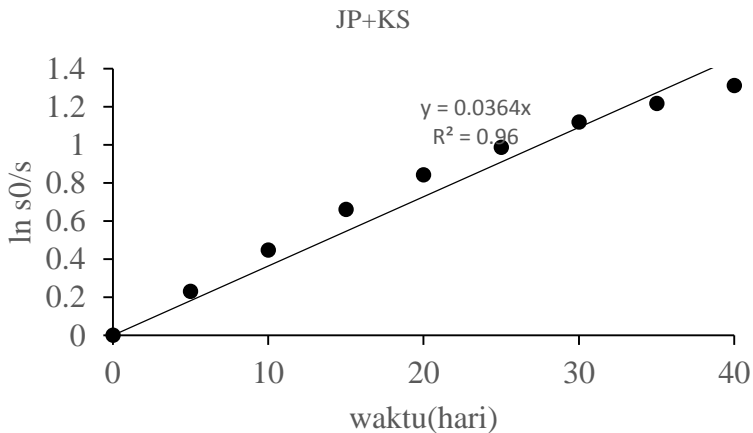
Grafik IV.23 Hubungan antara $\ln S^0/S$ terhadap waktu pada substrat Kulit kopi dengan pretreatmen (KK(PT)) dengan penambahan Kotoran sapi (KS).



Grafik IV.24 Hubungan antara $\ln S^0/S$ terhadap waktu pada substrat Kulit kopi dengan pretreatmen (KK(PT)) dengan penambahan Kotoran sapi dan cairan rumen (KS+R).



Grafik IV.25 Hubungan antara $\ln S^0/S$ terhadap waktu pada substrat Jerami padi (JP) dengan penambahan Kotoran sapi dan Cairan rumen (KS+R).



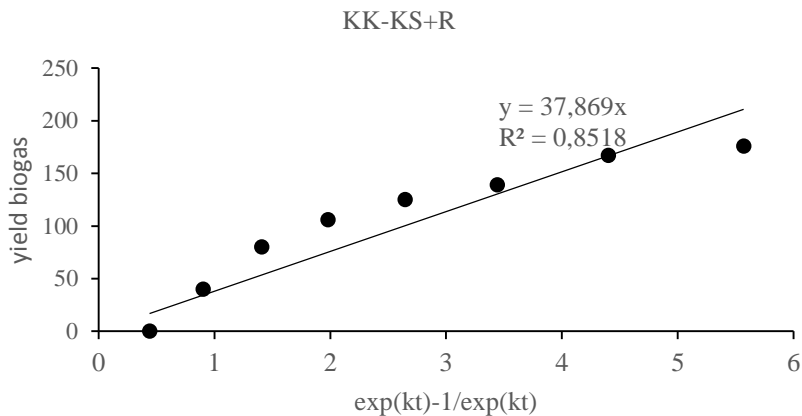
Grafik IV.26 Hubungan antara $\ln S^0/S$ terhadap waktu pada substrat Jerami padi (JP) dengan penambahan Kotoran sapi (KS).

Pada **Grafik IV 21-24** menghasilkan slope pada digester KK-KS+R, KK-KS, KK-PT-KS dan KK-PT-KS+R berturut -turut sebesar 0,0108; 0,0112; 0,0191 dan 0,0078 dari slope tersebut menghasilkan koefisien Km berturut-turut sebesar 216,78; 203,9; 189,09 dan 245,57. Sedangkan pada **Grafik IV 25 dan 26** menghasilkan slope diperoleh pada digester JP-KS+R dan JP-KS berturut -turut sebesar 0,0422 dan 0,0364 dari slope tersebut menghasilkan koefisien Km berturut-turut sebesar 475,71 dan 346,35. Nilai Km terbesar adalah pada digester jerami dengan mikroorganisme kotoran sapi dan rumen, sedangkan nilai Km terkecil pada digester kulit kopi tanpa pretreatmen dengan mikroorganisme kotoran sapi. Hal ini disebabkan karena kemampuan mikrooragnisme dalam mendegradasi terhadap substrat berbeda karena dipengaruhi beberapa faktor, salah satunya lamanya waktu yang dibutuhkan mikrooragnisme dalam mendegardasi substrat. Dari hasil penelitian sebelumnya (Corro, 2013) produksi biogas dengan menggunakan substrat kulit kopi dengan menggunakan mikroba kotoran sapi memerlukan waktu yang lama hingga 8 bulan untuk mendapatkan komposisi metana tertinggi sebesar 60%.

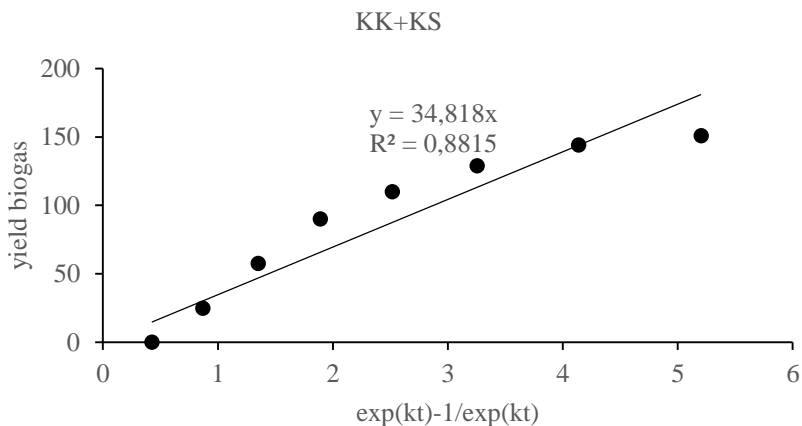
IV.5.4 koefisien konstanta pembentukan yield biogas maksimum (ym)

Koefisien konstanta pembentukan yield biogas maksimum (ym) digunakan untuk mengetahui biogas yang dihasilkan pada tiap digester pada kondisi maksimum. Nilai ym menunjukkan banyaknya bahan organik yang dikonversi menjadi biogas pada kondisi maksimum (Budi,N.W.2012) . Menurut Amelia (2010) semakin besar nilai ym semakin banyak biogas yang dihasilkan dan menunjukkan kandungan bahan organik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme juga tinggi. Nilai ym didapatkan nilai slope dari regresi linier plot hubungan antara $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ terhadap yield biogas (ml) yang akan ditunjukan pada **Grafik IV.27-IV.32**

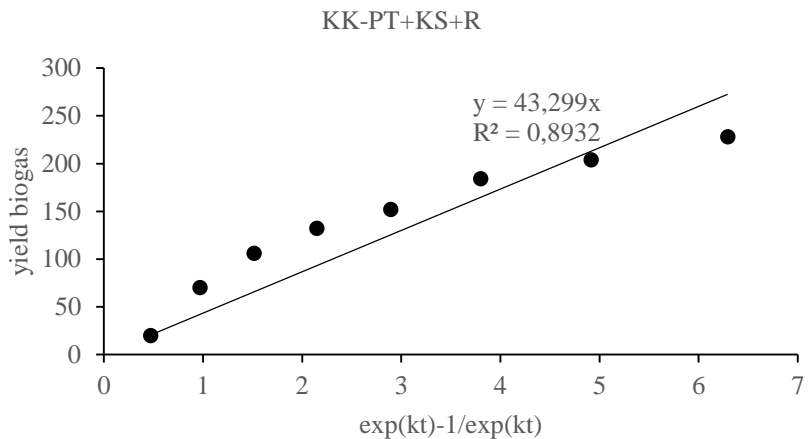
,



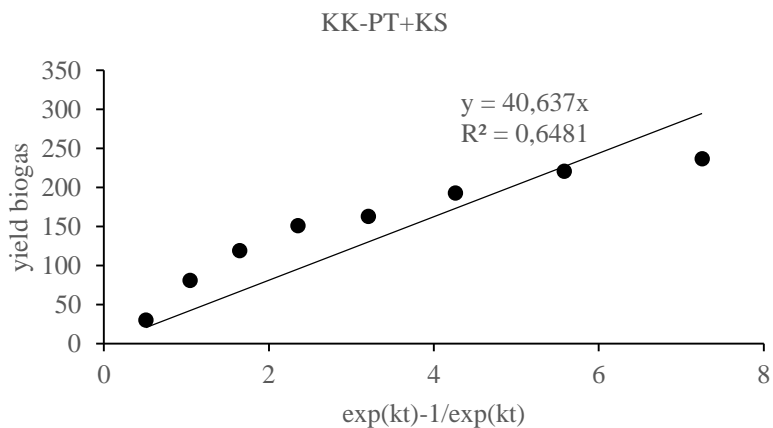
Grafik IV.27. Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt) - 1/\exp(kt)$ pada substrat kulit kopi tanpa pretreatmen dengan penambahan Kotoran sapi dan cairan rumen.



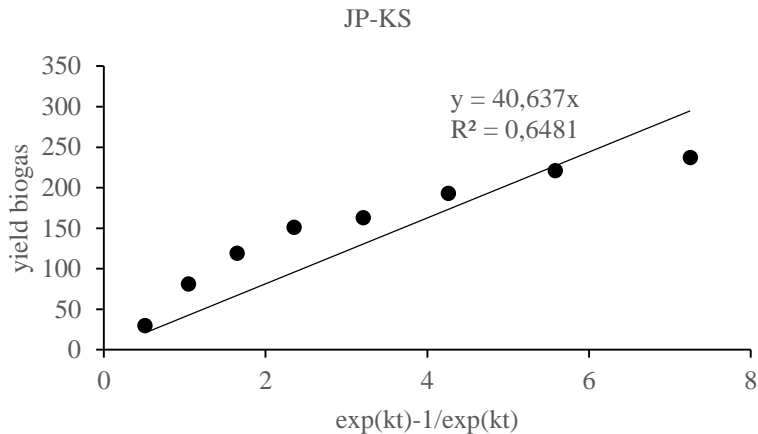
Grafik IV.28. Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt) - 1/\exp(kt)$ pada substrat kulit kopi tanpa pretreatmen dengan penambahan Kotoran sapi.



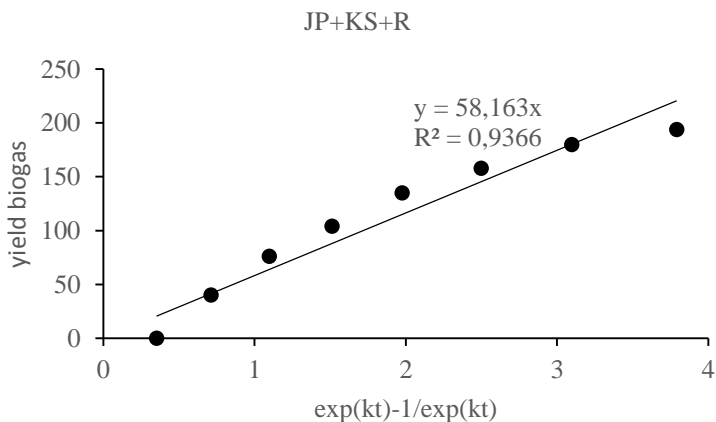
Grafik IV.29. Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ pada substrat kulit kopi dengan pretreatmen, dengan penambahan Kotoran sapi dan cairan rumen.



Grafik IV.30. Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ pada substrat kulit kopi dengan pretreatmen, dengan penambahan Kotoran sapi.



Grafik IV.31 Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ pada substrat jerami padi dengan penambahan Kotoran sapi.



Grafik IV.32 Hubungan antara yield biogas terhadap $\exp(kt)-1/\exp(kt)$ pada substrat jerami padi dengan penambahan Kotoran sapi dan cairan rumen

Pada **Grafik 1V 27-30** menghasilkan slope pada digester KK-KS+R; KK-KS; KK-PT- KS+R dan KK-PT-KS+R berturut - turut sebesar 37,869 ;34,818;43,299 dan 40,637 dari slope tersebut menghasilkan koefisien pembentukan yield biogas maksimum (ym). Sedangkan pada **Grafik IV 31 dan 32** menghasilkan slope diperoleh masing-masing slope pada digester JP-KS+R dan JP-KS berturut-turut sebesar 58,163 dan 45,551 dari slope tersebut menghasilkan koefisien koefisien pembentukan yield biogas maksimum (ym).

Misi dan Forster (2001) menyatakan bahwa kriteria untuk menilai keberhasilan perombakan limbah perkebunan secara anaerobik adalah penurunan padatan volatil (VS), total produksi biogas maksimum dan menghasilkan metana. Menurut Hasrul Anwar (2016) Subtrat jerami padi lebih mudah untuk terdegradasi dari pada kulit kopi sehingga akan berpengaruh pada yield biogas yang akan dihasilkan. Menurut Emmanuel Amagu (2014) penggunaan tipe rektor akan mempengaruhi penggunaan persamaan dalam mencari nilai yield biogas maksimum.

Menurut Haryati (2006) produksi biogas akan mencapai maksimum jika fermentasi anaerobik yang dilakukan benar-benar pada kondisi tanpa oksigen (O_2). Kondisi yang memungkinkan masuknya oksigen pada reaktor adalah ketika dilakukannya pengambilan sampel bahan padat dari dalam reaktor. Sampel bahan padat diambil dari lubang sampel yang terdapat pada reaktor. Pada proses penambahan air dan NaOH juga memungkinkan oksigen masuk ke dalam reaktor. Proses lainnya yang berpotensi masuknya oksigen ke dalam sistem fermentasi adalah pada saat proses pemanenan gas yang dilakukan 5 hari sekali dalam 40 hari. Solusi yang mungkin bisa dilakukan adalah memperbaiki desain sistem reaktor ketika pengambilan sampel agar kemungkinan masuknya oksigen dikurangi, yaitu dengan sistem buka-tutup otomatis pada lubang sampel, untuk menghindari masuknya oksigen ke dalam reaktor.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. *Pretreatment* secara biologis dengan menggunakan cairan kotoran luwak dapat mendegradasi komponen inhibitor pada kulit kopi dengan variabel penambahan cairan kotoran luwak.
2. Penurunan komponen inhibitor dengan *biological pretreatment* mendegradasi polyphenol (total penol) dari 9,04% menjadi 4,65%, untuk kafein dari 6,67% menjadi 2,24%, untuk tanin dari 8,18% menjadi 3,93% dan mendegradasi pectin dari 4,16% menjadi 2,16%.
3. Fermentasi anaerobik dengan tanpa adanya inhibitor yaitu jerami padi lebih besar dibandingkan dengan adanya inhibitor yaitu kulit kopi. Digester yang berisi jerami padi dengan penambahan mikroorganisme campuran antara kotoran sapi dan rumen (KS+R) menghasilkan konsentration metana sebesar 19,62% ,lebih besar dari digester yang berisi jerami padi dengan penambahan kotoran sapi sebesar 18,33%, untuk variabel substrat kulit kopi dengan pretreatmen dan tanpa pretreatmen, hasil konsentrasi gas metana yang dihasilkan pada pretreatmen lebih besar dibandingkan dengan kulit kopi tanpa pretreatmen. Hal ini ditujukan pada digester (KK-PT+KS+R) sebesar 16,02% dibandingkan dengan digester (KK-KS+R) sebesar 15,77%
4. Nilai parameter kinetika pembentukan biogas sebagai berikut:

	k	Y	ym	Km
JP-KS+R	0,05	1,874	58,163	475,71
JP-KS	0,0466	1,845	45,551	346,35

KK-KS+R	0,0421	1,545	37,869	216,78
KK-KS	0,0349	0,994	34,818	203,9
KK(PT)- KS+R	0,0446	1,804	43,299	245,57
KK(PT)- KS	0,0437	1,567	40,637	189,09

5. Nilai konstanta kinetika laju pertumbuhan (k) terbesar dihasilkan oleh digester JP-KS+R
6. Nilai koefisien yield pertumbuhan mikroorganisme (Y) terbesar dihasilkan oleh digester JP-KS+R

V.2 Saran

DAFTAR PUSTAKA

- Andrews, J.F., 1971. "Kinetic Models of Biological Waste Treatment Processes". In: Biotechnology and Bioengineering Symposium no. 2, Canale, R.P. (Ed.), John Wiley and Sons, New York, pp: 5-33
- Alfa I.M., Dahunsi S.O., O.T. Iorhemen, O.T., Okafor, C.C., Ajayi, S.A., 2014, "Comparative Evaluation of Biogas Production from Poultry Droppings, Cow Dung and Lemon Grass", *Bioresource Technology*, Vol. 157, Hal. 270-277
- Alfa.1992, "Standard Methods fo the examination of water and Wastewater Treatment", *American Public Health Association*, New York
- Anonim. 2012. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, Enegi Baru, Terbarukan, dan Konversi*. (Online)
http://www.p3tkebt.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=337&Itemid=529&lang=en.
Diakses tanggal 26 Januari 2016
- Anonim. 2015. *Laboratory Equipments and Supplies*. (Online)
<http://alatlab.org/pengertian-bod-biological-oxygen-demand-adalah/>.Diakses tanggal 26 Januari 2016
- Aubart, C., Farinet, J.L., 1983, "Anaerobic Digestion of Pig and Cattle Manure in Large-Scale Digesters and Power Production From Biogas". Symp. Pap. Energy Biomass Wastes VII, 741-766.
- Baba, Y., Tanabe, T., Shirai, N., Watanabe, T., Honda, Y., 2011, "Pretreatment of Japanese Cedar Wood by White Rot Fungi and Ethanolysis for Bioethanol Production", *Biomass Bioenergy*, Vol. 35.
- Bailey, J. E., dan Ollis, D. F., 1986, *Biochemical Engineering Fundamentals*, Mc GrawHill Inc, New York.
- Battista F., 2015, *Optimization of biogas production from coffee production waste*, *Bioresource Technology* 200 (2016) 884–890, Italy

- Bardiya, N., Gaur, A.C., 1997, "Effects of Carbon and Nitrogen Ratio on Rice Straw Biomethanation", *J. Rural Energy*, Vol. 1 (1-4), Hal. 1-16.
- Bi, Wentao., Zhou Jun., Row, Kyung Ho., 2010. *Decaffeination of Coffee Bean Waste by Solid-Liquid Extraction*. *Korean J. Chem. Eng.*, 28(1), 221-224.
- Chynoweth, D.P., Haley, P., Owens, J., Teixeira, A., Townsend, T., Xu, Q., Choi, H.I., 2003, Anaerobic Composting for Recovery of Nutrients, Compost, and Energy from Solid Waste During Space Mission, In: Pullammanappallil, P., Mc Comb. A. Diaz, L.F., Bidlingmaier, W. (eds), *Proceedings of The Fourth International Conference of ORBIT Association of Biological Processing of Organics*, ORBIT, Perth, Australia, Hal. 126-135.
- Corro, G., Panigua, L., Pal, U., Banuelos, F., Rosas, M., 2013, "Generation of Biogas from Coffe Pulp and Cow-Dung Co-Digestion: Infrared studies of postcombustio emission", *Energy Conversion and Management*, Vol. 74, hal. 471-481.
- Dowd, S.E., Callaway, T.R., Wolcott, R.D., Sun, Y., McKeehan, T., Hagevoort, R.G., Edrington, T.S., 2008, "Evaluation of The Bacterial Diversity in The Feces of Cattle Using 16S rDNA Bacterial Tag-Encoded FLX Amplicon Pyrosequencing (b TEFAP)", *BMC Microbiology*, BioMed Central Ltd.
- Environmental Protection Agency. 2001. *Method 1684 Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids*.
- Fachry, Rasyidi. 2004 *Penentuan Nilai Kalorifik yang Dihasilkan dari Proses Pembentukan Biogas*. *Jurnal Teknik Kimia* No.2, Vol.5. Hal. 11.
- Fengel, D., Wegener G., 1985, *Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi*, Gadjah Mada University Press, Indonesian Edition, 124-149.
- Fox, M., Noike, T., 2004, "Wet Oxidation Pretreatment For The Increase in Anaerobic Biodegradability of Newspaper Waste", *Bioresource Technology*, Vol. 91, Hal. 273-281.

- Grabber, J.H., 2005. How do lignin composition, structure, and cross-linking affect degradability? A review of cell wall model studies. *Crop Sci.* 45, 820–831.
- Harasimowicz, M., P. Orluk., G. Zakrzewska-Trznadel and A.G. Chmielewski., 2007,”Application of Polyimide Membranes for Biogas Purification and Enrichment”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 144, pp. 698 – 702.
- Haryanti, T. 2006. Biogas : Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *J Wartazoa* 16:160 – 169.
- Ismayana, A., Indrasti, N.A.I., Maddu, A., Fredy, A. 2012. *Factors of Initial C/N and Aeration Rate in Co-Composting Process of Bagasse and Filter Cake*. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 22 (3):173-179.
- Ileana., 2014. “Pretreatment Bahan Lignoselulosa” (Online)
<https://cropstechnology.wordpress.com/2014/03/31/preatment-bahan-lignoselulosa/>. Diakses tanggal 31 September 2016 pukul 17.43
- Kanal Satu, 2014, “RPH :80 % Sapi Potong Adalah Betina”, www.kanalsatu.com.
- Kalia, A.K., Kanwar, S.S., 1989, “Anaerobic Fermentation of Ageratum for Bioags Production”, *Biol. Wastes*. Vol 32, Hal. 155-158.
- Klei,H.E and D.W Sundstrom. *Wastewater Treatment*.Prentice-hall,inc.,Englewood cliffs, N.J.07632.
- Kotsyurbenko, O.R., Nozhevnikova, A.N., Kalyuzhnyy, S.V., Zavarzin, G.A., 1993, Metanogenic Digestion of Cattle Manure at Low Temperature”, *Mikrobiologiya* Vol. 62 (4), Hal. 761-771.
- Krisno, A. 2011. *Pemanfaatan bakteri lactobacillus casei dalam upaya menjaga kesehatan pencernaan manusia*, (online)
<http://aguskrisnoblog.wordpress.com/2011/01/11/pemanfaatan-bakteri-lactobacillus-casei-dalam-upaya-menjaga->

- kesehatan-pencernaan-manusia. diakses pada tanggal 21 Desember 2016
- Kumar, A., Negi, Y.S., Choudhary, V., Bhardwaj, N.K., *Characterization of Cellulose Nanocrystals Produced by Acid-Hydrolysis from Sugarcane Bagasse as Agro-Waste*. 2014. Journal of Materials physics and Chemistry, Vol. 2.
- Laureano-Perez, L., Teymouri, F., Alizadeh, H., Dale, B.E., 2005. Understanding factors that limit enzymatic hydrolysis of biomass. Appl. Biochem. Biotechnol., 1081–1099.
- Lin, Y., Wang, D. Wu, S., Wang, C., 2009, “Alkali Pretreatment Enhances Biogas Production in Anaerobic Digestion of Pulp and Paper Sludge”, J. Hazard. Mater., Vol. 170, Hal. 366-373
- Lee, J.M., 1992, “Biochemical Engineering”, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 83-94
- Misi SN dan CF Forster. 2001. Batch Co-digestion of Multi-component Agro-wastes. J Bioresource Technol 80:19 – 28
- Mohanrao, G.J., 1974, Scientific Aspects of Cow Dung Digestion”, Khadi Gramodyog, Vol. 29 (7), Hal. 340-347.
- Momoh O.L. 2010. *The effect of waste paper on kinetics of biogas yield from the co digestion of cow dung and water hyacinth* . Nigeria Journal of biomass & bioenergy.
- Petterson, A. ; Wellinger, A., 2009, “Biogas Upgrading Technologies – Development and Innovation”, Available at : <http://iea-biogas.net/>.
- Takenaka, A., 2008, “The Properties of Rumen Microorganism And Their Contribution to Methane Production”, *National Institute of Livestock and Grassland Science*, Japan. Technol. 82, 209–213
- Tirumale, S., Nand, K., 1994, “Influence of Anaerobic Cellulolytic Bacterial Consortia in The Anaerobic Digester on Biogas Production”. Biogas Forum III. Vol. 58. Hal. 12-15.
- Umetsu, K., Takahata, H., Kawamoto, T., 1992, “Effect of Temperature on Mesophilic Anaerobic Digestion of Dairy

- Cow Slurry”, Res. Bull., Obihiro Univ.Ser. I Vol. 17 (4) , Hal. 401.408.
- Wellinger, A., 2009, “Gas Upgrading Issues”, European Biomethane Fuel Conference, Gotenborg, Sweden, September, 2009, <http://www.biogasmax.eu/>.
- Yadvika, Santosh, Sreekishnan T.R., Kohli, S., Rana, V., 2004, “Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Technique-A Review”, Bioresource Technology, Vol 95, Hal 1-10.
- Zhang et al. 2010. *Fermentation potentials of Zymomonas mobilis and its application in ethanol production from low-cost raw sweet potato*. African Journal of Biotechnology. 9. 37. 6122-6128.

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	mg/l
ym	Konstanta Yield biogas Maksimum	ml
TS	<i>Total Solid</i>	g/l
VS	<i>Volatile Solid</i>	g/l
ρ	Densitas	gr/ml
k	Laju pertumbuhan spesifik	Jam ⁻¹
X	Konsentrasi biomassa	g/l
Ks	Konstanta Kejenuhan	
μ_m	Laju pertumbuhan spesifik maksimum	g/l
Y	Yield biomassa terhadap mikroorganisme	

APPENDIKS

A.1 Perhitungan Densitas (ρ)

1. Kulit kopi

(kulit kopi berbentuk padatan kecil/serbuk, perhitungan densitas (ρ) kulit kopi dilakukan dalam gelas ukur 10 ml dan dilakukan secara triplo)

- Massa kulit kopi = 1,0036 gram
Volume awal air dalam gelas ukur 10 ml = 9 ml
Volume akhir air dalam gelas ukur 10 ml = 9,4 ml
(volume kulit kopi = 0,4ml)

$$\begin{aligned}\text{Densitas } (\rho) &= \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \\ &= \frac{1,0036}{0,4} \\ &= 2,509 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}\end{aligned}$$

- Massa kulit kopi = 1,0036 gram
Volume awal air dalam gelas ukur 10 ml = 9 ml
Volume akhir air dalam gelas ukur 10 ml = 9,5 ml
(volume kulit kopi = 0,4ml)

$$\begin{aligned}\text{Densitas } (\rho) &= \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \\ &= \frac{1,0046}{0,5} \\ &= 2,009 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}\end{aligned}$$

- Massa kulit kopi = 1,0036 gram
Volume awal air dalam gelas ukur 10 ml = 9 ml
Volume akhir air dalam gelas ukur 10 ml = 9,4 ml
(volume kulit kopi = 0,4ml)

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$= \frac{1,0016}{0,4}$$

$$= 2,504 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}$$

- Densitas rata-rata = $\frac{2,504+2,009+2,509}{3}$
 $= 2,34 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}$

2. Cairan Kotoran sapi

(perhitungan densitas (ρ) Cairan kotoran sapi dilakukan dalam piknometer 10 ml dan dilakukan secara triplo)

- Berat piknometer 10 ml (kosong) = 13,3130 gram
- Berat piknometer 10 ml + sampel = 23,7010 gram

densitas (ρ)

$$= \frac{(\text{berat piknometer 10 ml+sampel})-\text{berat piknometer 10 ml kosong}}{\text{Volume piknometer (10ml)}}$$

$$= \frac{23,70-13,31}{10 \text{ ml}}$$

$$= 1,039 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}$$

- Berat piknometer 10 ml + sampel = 23,6090 gram

densitas (ρ)

$$= \frac{(\text{berat piknometer 10 ml+sampel})-\text{berat piknometer 10 ml kosong}}{\text{Volume piknometer (10ml)}}$$

$$= \frac{23,6090-13,31}{10 \text{ ml}}$$

$$= 1,0299 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}$$

- Berat piknometer 10 ml + sampel = 23,5020 gram

densitas (ρ)

$$= \frac{(\text{berat piknometer 10 ml+sampel})-\text{berat piknometer 10 ml kosong}}{\text{Volume piknometer (10ml)}}$$

$$= \frac{23,502-13,31}{10 \text{ ml}}$$

$$= 1,0192 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}$$

- Densitas rata-rata = $\frac{1,0192+1,0299+1,039}{3}$
 $= 1,029 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}$

3. Cairan rumen

(perhitungan densitas (ρ) Cairan kotoran sapi dilakukan dalam piknometer 10 ml dan dilakukan secara triplo)

- Berat piknometer 10 ml (kosong) = 13,3138 gram
- Berat piknometer 10 ml + sampel = 23,4612 gram

densitas (ρ)

$$= \frac{(\text{berat piknometer 10 ml+sampel})-\text{berat piknometer 10 ml kosong}}{\text{Volume piknometer (10ml)}}$$

$$= \frac{23,4612-13,31}{10 \text{ ml}}$$

$$= 1,015 \frac{\text{gram}}{\text{ml}}$$

- Berat piknometer 10 ml + sampel = 23,561 gram

densitas (ρ)

$$\begin{aligned} &= \frac{(\text{berat piknometer 10 ml+sampel})-\text{berat piknometer 10 ml kosong}}{\text{Volume piknometer (10ml)}} \\ &= \frac{23,561-13,31}{10 \text{ ml}} \\ &= 1,025 \frac{\text{gram}}{\text{ml}} \end{aligned}$$

- Berat piknometer 10 ml + sampel = 23,441 gram

densitas (ρ)

$$\begin{aligned} &= \frac{(\text{berat piknometer 10 ml+sampel})-\text{berat piknometer 10 ml kosong}}{\text{Volume piknometer (10ml)}} \\ &= \frac{23,441-13,31}{10 \text{ ml}} \\ &= 1,0131 \frac{\text{gram}}{\text{ml}} \end{aligned}$$

A.2 Perhitungan kebutuhan Urea untuk mencapai C/N rasio yang optimum :

1. Kadar C, O, N dan H dalam Urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)

- Kadar C = $\frac{12}{60} \times 100\%$
= 20%
- Kadar O = $\frac{16}{60} \times 100\%$
= 26,67%
- Kadar N = $\frac{28}{60} \times 100\%$
= 46,67%
- Kadar H = $\frac{4}{60} \times 100\%$
= 6,67%

2. Kadar C dan N dalam Kulit kopi

- Kadar C = 18 %
- Kadar N = 0,41 %

$$3. \text{ Perhitungan C/N rasio Urea} = \frac{20\%}{46,67\%} = 2,99$$

4. Perhitungan kebutuhan Urea untuk mencapai C/N rasio yang optimum

$$\frac{C}{N} = \frac{\% C \text{ KK} \times \text{bobot KK} + \% C \text{ Urea} \times \text{bobot urea}}{\% N \text{ KK} \times \text{bobot KK} + \% N \text{ Urea} \times \text{bobot urea}}$$

$$30 = \frac{18 \times 1,08 + 20 \times \text{bobot urea}}{0,41 \times 1,08 + 20 \times \text{bobot urea}}$$

$$\text{Urea} = 49,64 \text{ gram}$$

A.3 Membuat Larutan NaOH 1 N

Contoh perhitungan pembuatan larutan NaOH 500 ml

$$M = \frac{\text{massa}}{Mr} \times \frac{1000}{V(ml)}$$

$$1N = \frac{\text{massa}}{40} \times \frac{1000}{500 \text{ ml}}$$

Massa = 20 gram (Massa NaOH yang dibutuhkan untuk membuat larutan NaOH 1 N sebanyak 500 ml)

A.4 Membuat Larutan H₂SO₄ 1 N

Contoh perhitungan pembuatan larutan H₂SO₄ 500 ml

N = (10% x % H₂SO₄ x berat jenis H₂SO₄) x (Valensi asam/BM)

$$= (10\% \times 98\% \times 1,84) \times \left(\frac{2}{98,08}\right)$$

$$= 37 \text{ N}$$

$$V_1 N_1 = V_2 N_2$$

$$V_1 \times 37 \text{ N} = 500 \text{ ml} \times 1 \text{ N}$$

$$V_2 = 13,6 \text{ ml}$$

$$\text{Dimana } V_1 = \text{Volume H}_2\text{SO}_4 \text{ 98\%}$$

N_1 = konsentrasi H_2SO_4 hasil perhitungan

V_2 = Volume aquadest yang ditambahkan

N_2 = konsentrasi H_2SO_4 yang diinginkan

A.5 Membuat Larutan H_2SO_4 72%

Contoh perhitungan

$$\begin{aligned}\text{Massa larutan asam pekat} &= V \times \rho \\ &= 10 \text{ ml} \times 1,84 \text{ g/ml} \\ &= 18,4 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa } H_2SO_4 &= \text{massa larutan} \times \text{massa konsentrasi } H_2SO_4 \\ &= 18,4 \text{ gr} \times 98\% \\ &= 18,032 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa air} &= \text{massa larutan} - \text{massa } H_2SO_4 \\ &= 18,4 - 18,032 \\ &= 0,368 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$72\% = \frac{m_{H_2SO_4}}{m_{H_2SO_4} + m_{\text{air}} + \text{air yang dibutuhkan}}$$

$$72\% = \frac{18,032}{18,032 + 0,368 + x}$$

$$x = 6,64 \text{ ml}$$

Dimana ; x = massa air yang ditambahkan

A.6 Menghitung Kadar Selulosa, Hemiselulosa, dan Lignoselulosa

$$\text{Kadar Selulosa} = \frac{c-d}{a} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Hemiselulosa} = \frac{b-c}{a} \times 100\%$$

$$\text{Kadar lignin} = \frac{d-e}{a} \times 100\%$$

Contoh perhitungan

Data	
Massa	gram
a	1,0045
b	0,801
c	0,614
d	0,119
e	0,078

$$\text{Kadar Selulosa} = \frac{c-d}{a} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Hemiselulosa} = \frac{b-c}{a} \times 100\%$$

$$\text{Kadar lignin} = \frac{d-e}{a} \times 100\%$$

$$\text{Abu} = \frac{d}{e}$$

Dimana :

a = ODW (*oven dry weight*) awal sampel biomassa lignoselulosa

b = ODW (*oven dry weight*) residu sampel direfluk dengan air panas

c = ODW (*oven dry weight*) residu sampel setelah direfluk dengan 0,5 M H₂SO₄

d = ODW (*oven dry weight*) residu sampel setelah diperlakukan dengan 72% H₂SO₄ dan kemudian diencerkan menjadi 4% H₂SO₄

e = abu dari residu sampel.

$$\text{Kadar Selulosa} = \frac{0,614-0,119}{1,0045} \times 100\%$$

$$= 49,36\%$$

$$\text{Kadar Hemiselulosa} = \frac{0,801-0,614}{1,0045} \times 100\%$$

$$= 18,6 \%$$

$$\text{Kadar lignin} = \frac{0,119-0,078}{1,0045} \times 100\%$$

$$=4,05\%$$

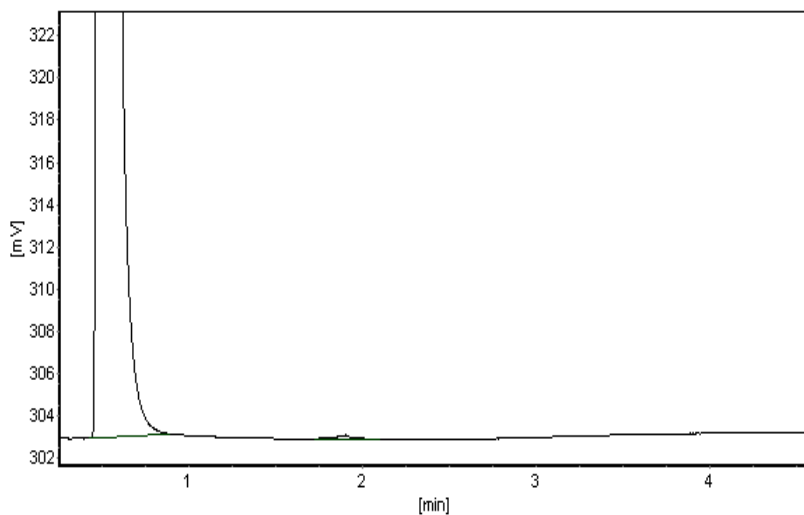
$$\text{Abu} = \frac{0,119}{0,0782}$$

$$= 1,521$$

A.7 Analisa kandungan Gas Metana

Tabel A.1 Analisa kandungan gas metana pada substrat jerami padi dengan mikroorganisme kotoran sapi dan rumen (KS+R) pada hari ke-5

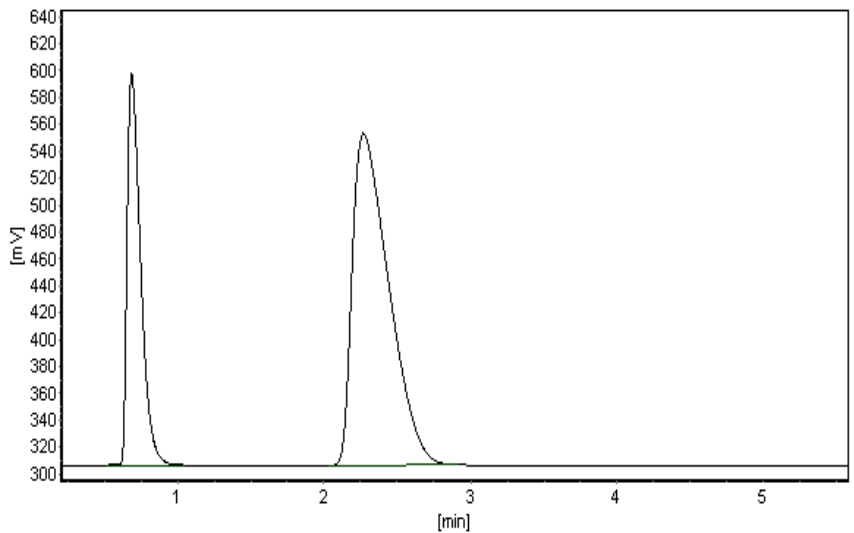
Nos	Compound Name	R.Time	Height	Area	Area%	Type
1	Udara	0.483	583886	2699858	51,8643	BX
2	Methane	0.809	275	38621	0,7419	XB
3	CO2	1745	179817	2404701	46,19431	BB
TOTAL			763978	5205621	100	



Gambar A.1 Hasil analisa gas metana

Tabel A.2 Analisa kandungan gas metana pada substrat jerami padi dengan mikroorganisme kotoran sapi dan rumen (KS+R) pada hari ke-10

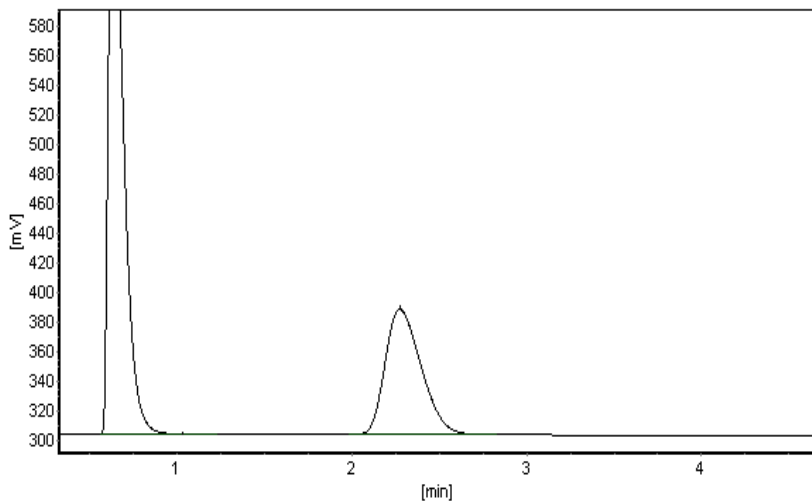
Nos	Compound Name	R.Time	Height	Area	Area%	Type
1	Udara	0.483	583886	3399858	65,3113	BX
2	Methane	0.809	275	299621	5,7557	XB
3	CO2	1745	179817	2404701	46,19431	BB
TOTAL			763978	5205621	100	



Gambar A.2 Hasil analisa gas metana

Tabel A.3 Analisa kandungan gas metana pada substrat jerami padi dengan mikroorganisme kotoran sapi dan rumen (KS+R) pada hari ke-15

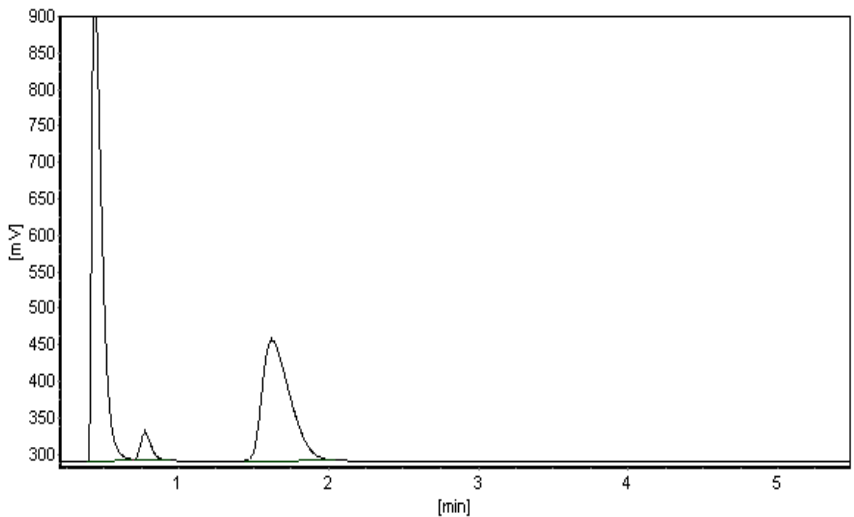
Nos	Compound Name	R.Time	Height	Area	Area%	Type
1	Udara	0.45	864636	3141105	65,1636	BB
2	methane	1302	12567	726451	15,0705	VB
2	CO2	1777	242	952781	19,759	BB
TOTAL			877445	4820337	100	



Gambar A.3 Hasil analisa gas metana

Tabel A.4 Analisa kandungan gas metana pada substrat jerami padi dengan mikroorganisme kotoran sapi dan rumen (KS+R) pada hari ke-20

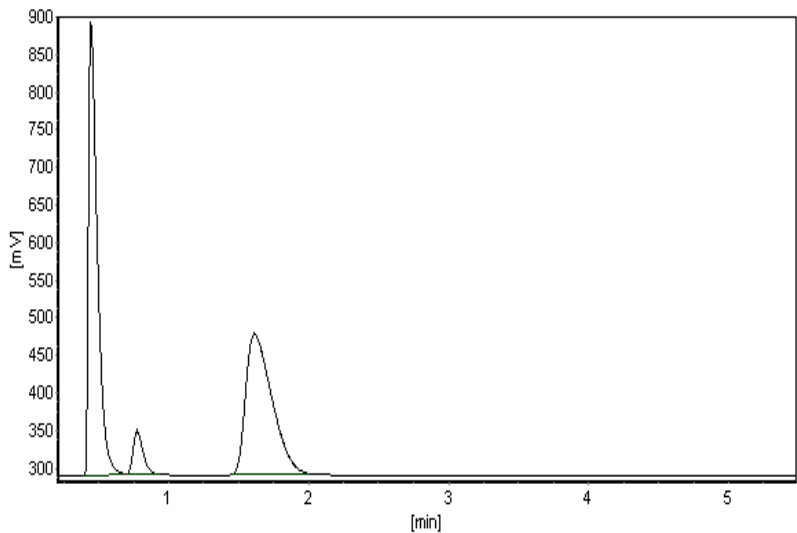
Nos	Compound Name	R.Time	Height	Area	Area%	Type
1	Udara	0.954	593859	3619871	69,0934	BB
2	Methane	1625	11198	766760	16,0727	BB
3	CO2	3364	118699	267820	25,97289	BB
TOTAL			723756	4654451	9999999	



Gambar A.4 Hasil analisa gas metana

Tabel A.5 Analisa kandungan gas metana pada substrat jerami padi dengan mikroorganisme kotoran sapi dan rumen (KS+R) pada hari ke-25

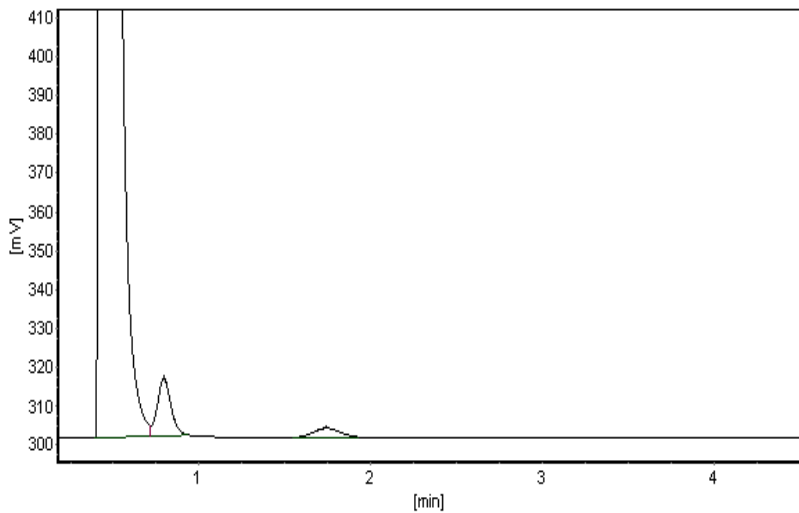
Nos	Compound Name	R.Time	Height	Area	Area%	Type
1	Udara	0.437	871268	3904134	78,6695	BV
2	Methane	0.788	7179	884603	17,8251	VB
3	CO2	1,735	1647	581110	11,7095	BB
TOTAL			880094	4962705	100	



Gambar A.5 Hasil analisa gas metana

Tabel A.6 Analisa kandungan gas metana pada substrat jerami padi dengan mikroorganisme kotoran sapi dan rumen (KS+R) pada hari ke-30

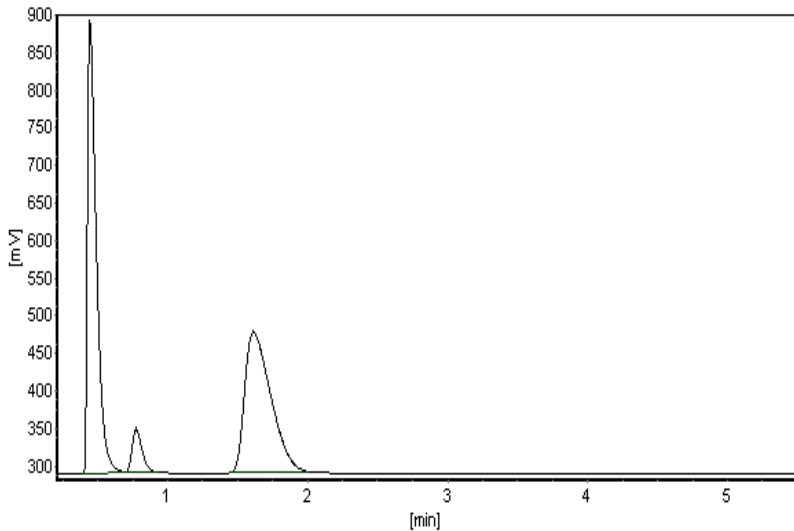
Nos	Compound Name	R.Time	Height	Area	Area%	Type
1	Udara	0.424	882859	2590959	64,0871	BB
2	Methane	0.789	7659	793502	19,6272	VB
3	CO2	1733	251	658411	14,3982	BB
TOTAL			890769	4042872	100	



Gambar A.6 Hasil analisa gas metana

Tabel A.7 Analisa kandungan gas metana pada substrat jerami padi dengan mikroorganisme kotoran sapi dan rumen (KS+R) pada hari ke-35

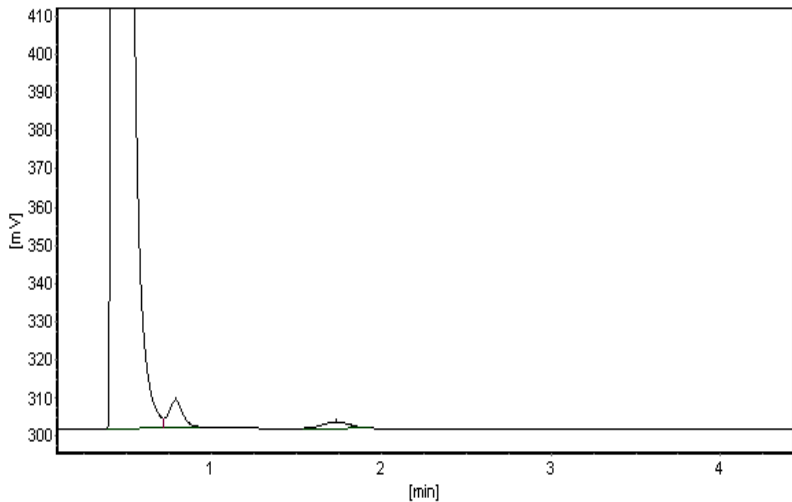
Nos	Compound Name	R.Time	Height	Area	Area%	Type
1	Udara	0.446	488444	19907962	31,05043	BV
2	Methane	0.783	7320	9150521	14,27206	VB
3	CO2	1.571	253124	35056441	55	BB
TOTAL			748888	64114924	100	



Gambar A.7 Hasil analisa gas metana

Tabel A.8 Analisa kandungan gas metana pada substrat jerami padi dengan mikroorganisme kotoran sapi dan rumen (KS+R) pada hari ke-40

Nos	Compound Name	R.Time	Height	Area	Area%	Type
1	Udara	0.446	488444	8990796	61,67813	BV
2	Methane	0.783	7320	2080520	14,27266	VB
3	CO2	1.571	253124	3505644	24,04921	BB
TOTAL			748888	14576960	100	



Gambar A.8 Hasil analisa gas metana

A.8 Total solid (TS) dan Volatile solid (VS) dalam reactor

Perhitungan TS dan VS

$$\text{Total Solid} = a \times (1000 / V)$$

Contoh perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Total Solid} &= 0,5546 \times (1000/10) \\ &= 55,46 \text{ g/l} \end{aligned}$$

$$\text{Volatile Solid} = \text{TS} - \text{Ash}$$

$$\text{Ash (g/l)} = a \times (1000/V)$$

a = perbedaan berat dari cawan penguap setelah dipanaskan pada suhu 700°C dengan berat cawan kosong

V = volume sampel

Contoh perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Ash} &= 0,324 \times (1000/10) \\ &= 32,4 \text{ g/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{VS} &= \text{TS} - \text{Ash} \\ &= 55,46 \text{ g/l} - 32,4 \text{ g/l} \end{aligned}$$

= 23,06 g/l

Tabel A.9 Perubahan TS selama proses anaerobik kulit kopi (g/l)

Hari	Jerami padi*		Kulit kopi *		Kulit kopi**	
	KS+R	KS	KS+R	KS	KS+R	KS
5	1	1	1	1	1	1
10	0,801	0,821	0,963	0,981	0,907	0,93
15	0,553	0,611	0,62	0,832	0,665	0,811
20	0,417	0,502	0,53	0,769	0,589	0,574
25	0,321	0,422	0,458	0,711	0,504	0,512
30	0,248	0,359	0,41	0,665	0,441	0,463
35	0,204	0,309	0,38	0,628	0,38	0,36
40	0,171	0,289	0,36	0,597	0,306	0,253
0	0,151	0,271	0,35	0,576	0,174	0,171

*) tanpa pretreatment

**) dengan pretreatment

Tabel A.10 Perubahan VS selama proses anaerobik kulit kopi (g/l)

Hari	Jerami padi*		Kulit kopi *		Kulit kopi**	
	KS+R	KS	KS+R	KS	KS+R	KS
5	0,73	0,43	0,64	0,3	0,612	0,3
10	0,451	0,28	0,821	0,23	0,4193	0,2103
15	0,358	0,22	0,611	0,19	0,32563	0,16
20	0,261	0,17	0,502	0,156	0,25	0,127
25	0,215	0,132	0,422	0,132	0,201	0,101
30	0,187	0,111	0,359	0,112	0,17	0,088
35	0,154	0,102	0,309	0,101	0,16	0,079
40	0,141	0,099	0,289	0,094	0,15	0,072

0	0,135	0,089	0,271	0,091	0,13	0,068
---	-------	-------	-------	-------	------	-------

*) tanpa pretreatment

**) dengan pretreatment

A.9 Chemical Oxygen Demand (COD)

Tabel A.11 Perubahan COD terhadap lamanya fermentasi anaerobik (mg/L)

Hari	Jerami padi*		Kulit kopi *		Kulit kopi**	
	KS+R	KS	KS+R	KS	KS+R	KS
0	18995,52	18974,62	18895,52	18705,97	19078,53	18660,24
5	15143,23	15078,53	17166,76	17424,92	16832,78	17660,2
10	12090,22	12132,78	16080,48	16317,06	15052,96	16912,81
15	9720	9803,341	15243,23	15293,53	13625,25	16251,75
20	7888,49	8178,222	14564,66	14419,02	12503,34	15670,23
25	6413,98	7075,222	14018,38	13798,76	11503,34	15163,74
30	5293,481	6201,978	13591,52	13245,77	10679,13	14686,62
35	4414,33	5621,805	13198,42	12847,82	9981,978	14293,48
40	3712,22	5121,112	13045,43	12512,25	9468,91	14005,9

*) tanpa pretreatment

**) dengan pretreatment

A.9 Parameter Pembentukan Kinetika Biogas

A.9.1 Konstanta kinetika laju pertumbuhan spesifik (k)

$$\frac{dC}{dt} = -kC$$

$$\ln \frac{C_0}{C_t} = kt$$

Substrat	Hari	tanpa pretreatment		Substrat	tanpa pretreatment		dengan pretreatment	
		KS+R	KS		KS+R	KS	KS+R	KS
		ln Co/Ct	ln Co/Ct		ln Co/Ct	ln Co/Ct	ln Co/Ct	ln Co/Ct
Jerami padi	0	0	0	Kulit kopi	0	0	0	0
	5	0,481	0,428		0,285	0,265	0,378	0,355247
	10	0,712	0,670		0,53	0,456	0,630	0,628609
	15	1,028	0,927		0,788	0,653	0,895	0,859595
	20	1,222	1,180		1,019	0,820	1,113	1,088662
	25	1,361	1,354		1,225	0,985	1,280	1,226446
	30	1,556	1,438		1,296	1,088	1,341	1,334335
	35	1,644	1,468		1,380	1,160	1,406	1,427116
	40	1,687	1,575		1,450	1,192	1,549	1,484275

A.9.2 Koefisien yield pertumbuhan mikroorganisme (Y)

$$\frac{S^0 - S}{X^0} = \frac{1}{Y} [e^{k_{ot}} - 1]$$

Substrat	Hari	tanpa pretreatment		Substrat	tanpa pretreatment		dengan pretreatment	
		KS+R	KS		KS+R	KS	KS+R	KS
		e ^{^(k_{ot})-1}	e ^{^(k_{ot})-1}		e ^{^(k_{ot})-1}	e ^{^(k_{ot})-1}	e ^{^(k_{ot})-1}	e ^{^(k_{ot})-1}
Jerami padi	0	0	0	Kulit kopi	0	0	0	0
	5	0,505312	0,460823		0,444842	0,352561	0,447735	0,439074
	10	1,265963	1,134004		1,087569	0,829422	1,095936	1,070935
	15	2,410981	2,117402		2,016207	1,474405	2,034358	1,980229
	20	4,13459	3,553973		3,357942	2,346784	3,392946	3,28877
	25	6,729159	5,652548		5,296538	3,526731	5,35982	5,171858
	30	10,63479	8,718196		8,097503	5,122681	8,207331	7,881762
	35	16,51399	13,19656		12,14446	7,2813	12,32977	11,78152
	40	25,36401	19,73867		17,99166	10,20097	18,29797	17,39355

Substrat	Hari	tanpa pretreatment		Substrat	tanpa pretreatment		dengan pretreatment	
		KS+R	KS		KS+R	KS	KS+R	KS
		So-s/X	So-s/X		So-s/X	So-s/X	So-s/X	So-s/X
Jerami padi	0	0	0	Kulit kopi	0	0	0	0
	5	1,708	2,78		0,718	1,11	1,07	0,95
	10	3,857	6,21		1,509	2,51	2,47	2,184
	15	7,107	10,79		2,510	4,37	4,36	3,792
	20	10,33	16,35		3,749	6,49	6,54	5,920
	25	13,45	21,44		5,188	8,76	8,91	7,946
	30	17,79	25,04		6,061	10,81	10,49	10,05
	35	20,68	26,97		7,077	12,46	12,12	12,12
	40	22,64	31,13		7,800	13,61	14,78	13,68

A.9.3 Koefisien konstanta michaelis-menten (Km)

$$\ln \frac{S^0}{S} = \frac{k_0}{K_m Y} X^0$$

Substrat	Hari	tanpa pretreatment		Substrat	tanpa pretreatment		dengan pretreatment	
		KS+R	KS		KS+R	KS	KS+R	KS
		ln(So/S)	ln(So/S)		ln(So/S)	ln(So/S)	ln(So/S)	ln(So/S)
Jerami padi	0	0	0	Kulit kopi	0	0	0	0
	5	0,22665	0,22983		0,09595	0,070941	0,055082	0,125235
	10	0,451806	0,447191		0,161319	0,136631	0,098324	0,236989
	15	0,670018	0,660379		0,214789	0,201413	0,138194	0,336639
	20	0,878798	0,841627		0,260327	0,260295	0,174632	0,422568
	25	1,085723	0,986503		0,298556	0,304264	0,207488	0,505926
	30	1,277727	1,118234		0,329479	0,345164	0,239458	0,580272
	35	1,459347	1,216449		0,358828	0,375668	0,266591	0,647782
	40	1,632573	1,309731		0,370487	0,402135	0,286916	0,70055

Substrat	tanpa pretreatment		Substrat	tanpa pretreatment		dengan pretreatment	
	KS+R	KS		KS+R	KS	KS+R	KS
Jerami padi	X0	X0	Kulit kopi	X0	X0	X0	X0
	73	43		64	30	61,2	30

A.9.4 koefisien konstanta pembentukan yield biogas maksimum (ym)

$$\ln\left(\frac{y_m}{y_m - y_t}\right) = kt$$

$$y_m = y_m (1 - e^{-kt})$$

Substrat	tanpa pretreatment		Substrat	tanpa pretreatment		dengan pretreatment	
	KS+R	KS		KS+R	KS	KS+R	KS
	e^k0t-1	e^k0t-1		e^k0t-1	e^k0t-1	e^k0t-1	e^k0t-1
	0	0		0	0	0	0
Jerami padi	0,505312	0,460823	Kulit kopi	0,444842	0,352561	0,447735	0,439074
	1,265963	1,134004		1,087569	0,829422	1,095936	1,070935
	2,410981	2,117402		2,016207	1,474405	2,034358	1,980229
	4,13459	3,553973		3,357942	2,346784	3,392946	3,28877
	6,729159	5,652548		5,296538	3,526731	5,35982	5,171858
	10,63479	8,718196		8,097503	5,122681	8,207331	7,881762
	16,51399	13,19656		12,14446	7,2813	12,32977	11,78152
	25,36401	19,73867		17,99166	10,20097	18,29797	17,39355

Yield biogas (ml)						
hari	kp ks	jp camp	jp ks	kp camp	KPKS	KPCAMP
5	0	30	20	0	0	0
10	24,8	81	70	40	40	70
15	57,5	119	106	76	80	120
20	90	151	132	104	106	158
25	110	163	152	135	125	174
30	129	193	184	158	139	185

35	144	221	204	180	167	190
40	151	237	228	194	176	200

RIWAYAT HIDUP PENULIS 1



Rianto Prayogo Saputro, adalah anak kedua dari tiga bersaudara yang lahir di Bandung 25 Januari 1992. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SDN 1 Kiangroke (1998-2004), SMPN 1 Banjaran (2004-2007), SMAN 1 Baleendah (2009-2010), D3 Kimia Industri FMIPA Unpad (2010-2013) dan melanjutkan jenjang S1 Teknik Kimia FTI-ITS (2014-2017) yang kemudian pada tahun 2016 mulai melakukan penelitian di Laboratorium Teknologi Biokimia sampai dengan terselesaikannya buku ini. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT Biofarma (2013) dan PT. Petrokimia Gresik - Jawa Timur (2015).

Penulis menyelesaikan tugas Pra-Desain **“Pabrik Garam Farmasi dengan Metode Pencucian”** dan skripsi yang berjudul: **“Kinetika Pembuatan Biogas dari Substrat Kulit Kopi dengan Mikroorganisme Kotoran Sapi dan Rumen”** di bawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.

E-mail penulis : prayogo.rianto@yahoo.co.id

No. HP : +62 81 221 234 11

RIWAYAT HIDUP PENULIS 2



Ambarwati, adalah anak pertama dari dua bersaudara yang lahir di Surabaya 14 Februari 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SDI Yamassa (1999-2005), SMP Jiwanala (2005-2008), SMAN 17 Surabaya (2008-2011), D3 Teknik Kimia FTI-ITS (2011-2014) dan melanjutkan jenjang S1 Teknik Kimia FTI-ITS (2014-2017) yang kemudian pada tahun 2016 mulai melakukan penelitian di Laboratorium Teknologi Biokimia sampai dengan terselesaikannya buku ini. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Semen Indonesia, Gresik-Jawatimur (2013) dan PT Petrokimia Gresik, Gresik-Jawatimur (2015).

Penulis menyelesaikan tugas Pra-Desain **“Pabrik Garam Farmasi dengan Metode Pencucian”** dan skripsi yang berjudul: **“Kinetika Pembuatan Biogas dari Substrat Kulit Kopi dengan Mikroorganisme Kotoran Sapi dan Rumen”** di bawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.

E-mail penulis : ambarwati14021994@gmail.com

No. HP : +62 85104353453